Le caratteristiche principali dell'Ecolabel Europeo si possono quindi sintetizzare dicendo che è uno strumento **volontario**, **selettivo** e con **diffusione a livello Europeo**.

Principali caratteristiche dell'Ecolabel Europeo

Strumento volontario	**Selettivo**	**Diffusione a livello Europeo**
La richiesta del marchio Ecolabel è del tutto volontaria. I fabbricanti, gli importatori o i distributori possono richiedere l'Ecolabel, una volta verificato il rispetto dei criteri da parte dei prodotti. I produttori che scelgono di richiederlo possono beneficiare dei conseguenti vantaggi competitivi.	L'etichetta ecologica è un attestato di eccellenza, pertanto viene concessa solo a quei prodotti che hanno un ridotto impatto ambientale. I criteri ecologici e prestazionali sono messi a punto in modo tale da permettere l'ottenimento dell'Ecolabel solo da parte di quei prodotti che abbiano raggiunto l'eccellenza ambientale. I criteri vengono revisionati e resi più restrittivi, quando se ne verifichi la necessità, in modo da premiare sempre l'eccellenza e favorire il miglioramento continuo della qualità ambientale dei prodotti.	La forza dell'Ecolabel Europeo è proprio la sua dimensione europea. Il marchi può essere usato nei 15 Stati Membri dell'Unione Europea così come in Norvegia, Islanda e Liechtestein. In Europa hanno ottenuto il marchio attualmente circa 400 prodotti, di oltre 90 produttori.

A chi si rivolge

Possono richiedere il marchio le aziende produttrici di beni e i fornitori di servizi, i venditori all'ingrosso e al dettaglio di prodotti e servizi che utilizzino il proprio marchio e gli importatori.

Quali sono i vantaggi

L'Ecolabel costituisce un vantaggio competitivo legato all'aumento di visibilità sul mercato e all'allargamento del target clienti. Il sigillo dell'Unione Europea (UE) dà ai prodotti la possibilità di avvalersi di un elemento distintivo, sinonimo di qualità ambientale e prestazionale, riconosciuto su tutto il territorio europeo che può evidenziare il prodotto sul mercato e attirare il consumatore attento alla salvaguardia ambientale.

L'Ecolabel visto dalla parte del consumatore è una garanzia, fornita dalla UE, delle qualità ecologiche e d'uso dei prodotti che va al di là del marchio del produttore e permette di fare scelte volte a minimizzare gli impatti ambientali negativi dei prodotti industriali. L'Ecolabel rientra tra gli strumenti preferiti per lo sviluppo di politiche di acquisto sostenibile, attuate sia nel settore pubblico che in quello privato.

6.12.1 Come si ottiene il marchio

La domanda per ottenere il marchio Ecolabel, corredata della documentazione tecnica necessaria, deve essere presentata dal richiedente al Comitato Ecolabel-Ecoaudit, il quale provvede ad inoltrarla ad APAT per l'esecuzione dell'istruttoria tecnico-amministrativa. APAT ha 60 giorni di tempo per verificare la conformità del prodotto ai criteri Ecolabel di riferimento e comunicare il risultato al Comitato. In caso di esito positivo dell'istruttoria il Comitato, entro 30 giorni concede l'etichetta e informa la Commissione Europea. Il tempo massimo per ottenere il contratto d'uso del marchio è dunque 3 mesi dalla data di presentazione della domanda.

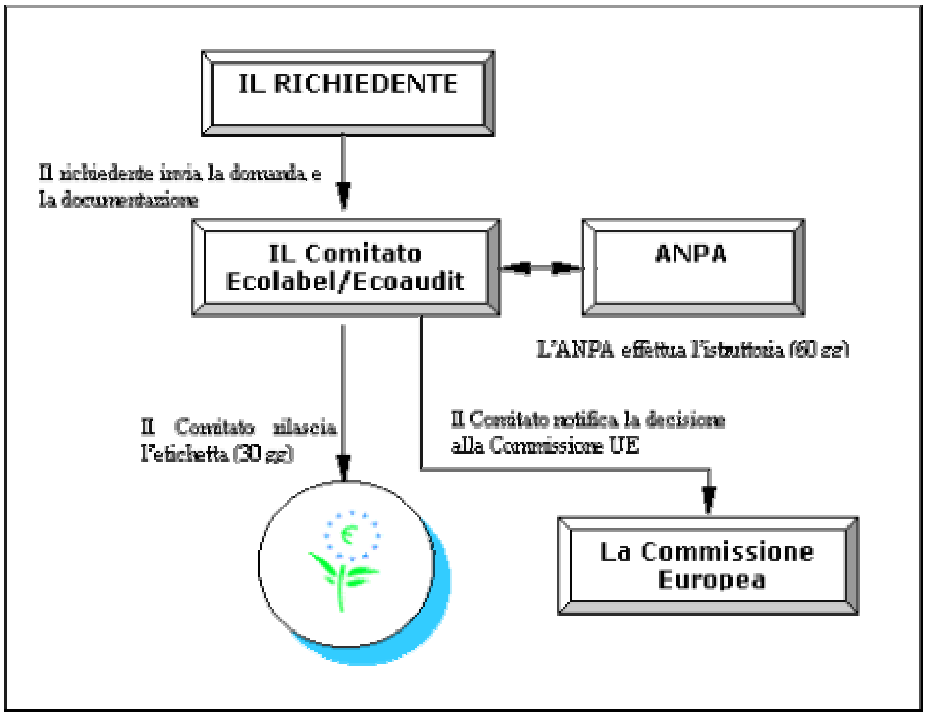

IL RICHIEDENTE
Il richiedente invia la domanda e la documentazione
IL Comitato Ecolabel/Ecoaudit
ANPA
L'ANPA effettua l'istruttoria (60 gg)
Il Comitato rilascia l'etichetta (30 gg)
Il Comitato notifica la decisione alla Commissione UE
La Commissione Europea

Figura 6-25 Percorso per ottenere l'EcoLabel

I soggetti coinvolti

Il richiedente (produttori, importatori, prestatori di servizi e venditori all'ingrosso e al dettaglio) al fine di ottenere l'assegnazione del marchio Ecolabel, interagisce con i seguenti soggetti: il Comitato Ecolabel-Ecoaudit, APAT e i laboratori accreditati

Il Comitato Ecolabel-Ecoaudit rappresenta l'Organismo Competente per la gestione del marchio Comunitario in Italia. Tale Comitato è costituito da 14 membri nominati dal Ministero dell'Ambiente, Ministero Industria, Ministero della Sanità e Ministero del Tesoro.

APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e Servizi Tecnici) svolge la funzione di supporto tecnico al Comitato per la concessione del marchio. Il DM 413/95 affida all'APAT una serie di compiti quali l'istruttoria e la valutazione delle domande per l'assegnazione dell'Ecolabel, la promozione del marchio, la partecipazione ai gruppi di lavoro della Commissione Europea per lo sviluppo e la revisione di nuovi criteri. In particolare APAT fornisce le informazioni necessarie alle aziende nella fase di predisposizione della domanda di concessione del marchio Ecolabel e nella fase di gestione del marchio stesso.

I laboratori accreditati presso l'Ispettorato Tecnico del Ministero dell'Industria Commercio e Artigianato (v. Circolare Ministero dell'Industria n. 162263 del 31.7.97-GU n.213 dell'8.8.97) sono quelli presso i quali il richiedente può effettuare le prove richieste per dimostrare la conformità del prodotto ai criteri definiti per ciascun gruppo di prodotti.

6.12.2 I costi dell'Ecolabel

Voce di costo	**Importo**	**Riduzioni**
Spese per l'esame del fascicolo	500 euro	riduzione del 25% per PMI[1] e fabbricanti e fornitori di servizi di paesi in via di sviluppo.
Diritti annuali	L'importo del diritto annuale è pari allo **0,15%** del volume annuale delle vendite all'interno dell'Unione europea del prodotto al quale è stato assegnato il marchio di qualità ecologica. Importo minimo e massimo rispettivamente di 500 e 25.000 euro.	riduzione del 25% per PMI[1] e fabbricanti e fornitori di servizi di paesi in via di sviluppo
		riduzione del 15% per i richiedenti che siano in possesso di una certificazione secondo le norme EMAS o ISO 14001
		riduzione del 25% ai primi tre richiedenti cui sia stato concesso il marchio per un determinato gruppo di prodotti
Prove e verifiche	A carico del richiedente	

6.12.3 Vantaggi

L'Ecolabel costituisce un vantaggio competitivo legato all'aumento di visibilità sul mercato e all'allargamento del target clienti. Il sigillo dell'Unione Europea (UE) dà ai prodotti la possibilità di avvalersi di un elemento distintivo, sinonimo di qualità ambientale e prestazionale, riconosciuto su tutto il territorio europeo che può evidenziare il prodotto sul mercato e attirare il consumatore attento alla salvaguardia ambientale. L'Ecolabel visto dalla parte del consumatore è una garanzia, fornita dalla

UE, delle qualità ecologiche e d'uso dei prodotti che va al di là del marchio del produttore e permette di fare scelte volte a minimizzare gli impatti ambientali negativi dei prodotti industriali. L'Ecolabel rientra tra gli strumenti preferiti per lo sviluppo di politiche di acquisto sostenibile, attuate sia nel settore pubblico che in quello privato.

6.12.4 Categorie etichettabili

Le categorie di prodotti e servizi etichettabili e cioè quelli per i quali sono stati già definiti i criteri ecologici di assegnazione del marchio europeo sono:

Prodotti:

- ammendanti
- calzature
- carta per copie
- coperture dure per pavimenti
- detergenti multiuso e per servizi sanitari
- detersivi per il lavaggio a mano dei piatti
- detersivi per lavastoviglie e bucato
- elettrodomestici (lavatrici, frigoriferi, lavastoviglie)
- lampade elettriche
- materassi
- personal computer (portatili e da tavolo)
- prodotti in carta-tessuto: carta igienica, carta da cucina, fazzoletti ecc
- prodotti tessili
- vernici

6.12.5 In Italia

Anche in Italia abbiamo, come già citato e mostrato, questo tipo di etichetta:

Figura 6-26 EcoLabel Europea

Vediamo alcuni dati.

Gruppi di prodotti	Pubblicato sulla GUCE
Lavatrici	L 191 dell' Ottobre 1999
Frigoriferi	L 323 dell' Ottobre 1999
Tessuto carta	L 019 del 24 Gennaio 1998
Lavastoviglie	L 216 del 4 Agosto 1998
Ammendanti	L 219 del 7 Agosto 1998
Materassi	L 302 del 12 Novembre 1998
Pitture e vernici per interni	L 5 del 9 Gennaio1999
Calzature	L 57 del 5 Marzo 1999
Prodotti tessili	L 57 del 5 Marzo 1999
Computer	L 70 del 17 Marzo 1999
Detersivi per lavatrici	L 187 del 20 Luglio 1999
Detersivi per lavastoviglie	L 167 del 2 Luglio 1999
Carta per copia	L 210 del 10 Agosto 1999
Lampade	L 216 del 14 Agosto 1999
Computer portatili	L 276 del 27 Ottobre 1999

Figura 6-27 Prodotti che hanno ottenuto l'EcoLabel

Gruppi di prodotto	Status
Detergenti per sanitari	Criteri in fase di sviluppo
Detersivi per piatti	Studi di fattibilità in fase di sviluppo
Pneumatici	Studi di fattibilità in fase di sviluppo
Mobili	Studi di fattibilità in fase di sviluppo
Aspirapolveri	Studi di fattibilità in fase di sviluppo
Televisioni	Studi di fattibilità in fase di sviluppo
Piastrelle di ceramica	Studi di fattibilità in fase di sviluppo
Turismo	In fase di sviluppo
Batterie per beni di consumo	Studio completato, lavori in sospeso
Sacchetti per la spazzatura	Studio completato, lavori in sospeso
Prodotti di carta riciclata	Studio completato, lavori in sospeso

Figura 6-28 Gryppi di prodotti in fase di sviluppo

6.12.6 Eco Label: estensione a servizi e distributori

Il Consiglio dei Ministri dell'Unione Europea in data 24.6.99 ha approvato la revisione del Regolamento 880/92.Tra le novità introdotte, l'estensione ai SERVIZI e la possibilità per i distributori di richiedere l'etichetta.

6.12.7 Il caso: definiti i nuovi criteri per l'assegnazione dell'etichetta ecologica alle lampadine

Per ottenere l'ecolabel le lampadine dovranno rispettare i seguenti obblighi: avere un limite al contenuto di mercurio, il confezionamento in cartone con una percentuale minima di materiale riciclato e fornire al consumatore una serie di informazioni relative allo smaltimento ed al consumo energetico.

Marchio	Paese
Europa	
Blauer Engel	*Germania*
White Swan	*Svezia, Norvegia, Islanda e Finlandia*
NF Environnnement	*Francia*
Baume	*Austria*
AENOR	*Spagna*
El Distintiu	*Catalonia*
Stichting Milieukeur	*Olanda – Paesi Bassi*
ASAOS	*Grecia*
Altri paesi OCSE	
EnviChoice	*Canada*
Eco Mark	*Giappone*
Green Mark	*Taiwan (ROC)*
Green Seal	*USA*
The Thai Green Label	*Tailandia*
Green Label	*Israele*

Figura 6-29 Elenco delle principali etiche tte ecologiche nazionali

6.12.8 Il caso: definiti i nuovi criteri per l'assegnazione dell'etichetta ecologica ai computer portatili

La Commissione Europea ha, infatti, stabilito gli standard qualitativi di riferimento per assegnare ai computer portatili il marchio di "qualita' ecologica". Molti i criteri fissati dalla Commissione per l'attribuzione dei marchi; oltre ad una garanzia triennale rilasciata dal produttore, i nuovi apparecchi dovranno contenere dettagliate istruzioni d'uso per gli acquirenti. Accanto alle normali specifiche tecniche, verranno indicati i consumi energetici dell'apparecchio e le modalita' da adottare per limitarli, soprattutto nei momenti di inattivita'. I nuovi computer dovranno inoltre recare una chiara indicazione dei possibili rischi per la salute umana derivanti dall'uso di apparecchiature elettroniche o dai materiali (mercurio) utilizzati per fabbricarle.
La scelta dei materiali con cui verranno prodotte ed assemblate le varie parti dovra' comunque essere attuata in modo da favorirne il riciclaggio: custodia e telaio dovranno essere realizzati in materiali plastici e metallici riciclabili in volume al 90%.

6.12.9 Il caso: Eco Label per carta fotocopie

La Commissione Europea ha recentemente pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale (L 210 del 10 Agosto 1999) i nuovi criteri per il rilascio dell'ecolabel per la **carta per fotocopie**. Il consumo di carta per fotocopie rappresenta in Europa un volume totale di 2,7 milioni di tonnellate per anno e la sua produzione, nonostante i significativi miglioramenti ottenuti recentemente,comporta ancora un considerevole impatto sull'ambiente.L'ecolabel, quale sistema di certificazione indipendente, ha l'obiettivo di aiutare i consumatori a scegliere la carta che ha il minore impatto ambientale.

6.12.10 Altre etichette ecologiche

Le principali etichette ecologiche nazionali sono:
-il **Nordic White Swan** (Svezia,Norvegia, Finlandia e Islanda) creato nel 1989. È il solo marchio insieme a quello Europeo ad essere multinazionale. Un ente coordina i quattro consigli nazionali. Ad oggi, il Nordic Swan ha definito i criteri per 41 prodotti, ha assegnato 424 licenze ad aziende per un totale di 1.400 prodotti. -Il **Blaue Engel** tedesco creato nel 1977. Tre membri istituzionali sono coinvolti nel sistema operativo di assegnazione del marchio: le autorità federali ambientali, l'Istituto Tedesco per l'Applicazione della Qualità e dell'Etichettatura e il Giurì per l'etichetta. Ad oggi, lo schema tedesco ha definito i criteri per circa 80 prodotti, ha assegnato 1.000 licenze ad imprese per un totale di 4.350 prodotti. -Il **NF Environnement** francese creato nel 1992. Il sistema coinvolge l'organismo di normalizzazione francese (AFNOR),un Comitato decisionale (il Comité de la marque NF Environnement) e un organo consultivo (il Scientific Council). I criteri vengono stabiliti sulla base di una LCA completa redatta congiuntamente da industria e autorità preposte. -Il **Stichting Milieukeur**: è il marchio dei Paesi Bassi creato nel 1992 su iniziativa del Ministro dell'Ambiente e dell'"Economia". I criteri ecologici sono definiti sulla base di studi elaborati da parte di un istituto di ricerca specializzato. Lo schema nordico prende in considerazione solo parzialmente la LCA. Sono stati etichettati 32 prodotti e assegnate licenze a 26 aziende.

-L'**Umweltzeichen Baume** austriaco creato nel 1991 dal Ministro dell'Ambiente, della Gioventù e della famiglia. I criteri sono applicabili a prodotti e processi manifatturieri. Il contratto dura 1 anno. I prodotti etichettati sono 34 e le aziende che detengono la licenza sono 23.

-L'**AENOR Medio Ambiente**: è il marchio spagnolo creato nel 1993 dall'Associazione Spagnola di Normalizzazione e Standardizzazione(AENOR). I criteri sono stabiliti sulla base della LCA del prodotto.
AENOR ha inoltre stabilito che i prodotti etichettati dal marchio nazionale saranno trattati separatamente da quelli con il marchio europeo. -**El Distintiu**: è il marchio di qualità ambientale catalano istituito nel 1994. Attualmente sono disponibili i criteri per 10 prodotti e l'etichetta è stata assegnata a 234 prodotti.

-U.S.Green Seal Programme: è uno schema di etichettatura privato ma collabora strettamente con circa 100 partner ambientali, incluse molte agenzie e amministrazioni pubbliche. Lo schema vieneutilizzato talvolta anche per bandi di gara. È stato creato nel 1989. Attualmente i criteri sono stati definiti per 50 gruppi di prodotti.

-Canada Environmental Choice:
È l'etichetta canadese creata nel 1988 amministrata da Canadian Environment Ministry. È stata gradualmente privatizzata. Il sistema di etichettatura canadese è molto simile a quello europeo. Il sistema copre circa 100 gruppi di prodotti e l'etichetta è stata assegnata a oltre 2000 prodotti.

-Eco Mark: È il sistema di etichettatura giapponese.
È stato creato nel 1989 dalla Nippon Environment Association sotto l'egida del Ministro dell'Ambiente. Nel 1992, il sistema copriva già 49 gruppi di prodotti ed aveva assegnato il marchio ad oltre 2.300 prodotti.

6.12.11 I criteri di scelta ecologica

Una volta che si è sicuri che bisogna acquisire quel tale prodotto in quelle quantità, le prime domande che bisogna porsi in materia di forniture sostenibili riguardanti sia il prodotto che il suo imballaggio, sono:

- ha l'etichetta ecologica?
- è progettato con attenzione alla minimizzazione dei rifiuti (pericolosi e non), all'efficienza energetica?
- contiene sostanze dannose all'ambiente, o risorse provenienti da "aree sensibili" (es. legni tropicali)?
- durante il suo utilizzo produce sostanze o emette radiazioni dannose all'ambiente e alla salute?
- è ottenuto da materie riciclate?

è facile la sua manutenzione, conviene economicamente la riparazione?

- è facilmente aggiornabile o riutilizzabile (anche in parti)?
- è facilmente ed economicamente smaltibile?

6.12.12 Cosa si prefigge il Governo

Ecco una tabella che evidenzia le percentuali di riciclo e di recupero che il Parlamento Italiano si propone di raggiungere, anche al di là delle Direttive Europee:

Tabella 6-13[81] Percentuali di recupero e riciclo minimi per alcune categorie di elettrodomestici

In peso	Grandi elettrodomestici e distributori automatici	Apparecchiature di consumo	Apparecchiature informatiche e per telecomunicazioni	Lampade da elettroluminescenza	Altre categorie
% riciclo e riuso min	75%	65%	65%	80%	50%
% recupero min	90%	85%	85%	80%	80%

6.12.13 Come iniziare

1.Adottare una politica ambientale degli acquisti;
2.Valutare la situazione iniziale delle necessità di acquisto interne;
3. Programmare una strategia di acquisti con obiettivi e criteri ambientali (checklist);
4.Attivare informazione e formazione interna sul tema degli acquisti sostenibili;
5. Selezionare i fornitori.

6.13 Atteggiamento assunto finora nei confronti del problema[82]

Il problema della creazione di un mercato per le materie prime "seconde"
Il recupero di materiali dai beni durevoli dismessi non ha senso se non è possibile prevederne un riutilizzo in altri cicli produttivi. Al momento, il trattamento degli apparecchi elettrici/elettronici a fine vita consente (in alcuni casi di eccellenza) di sfruttare quasi al 100% i materiali e le sostanze che vengono recuperate; questo avviene in due modi

- ✔ attraverso il **riciclaggio** (il materiale recuperato subisce una trasformazione fisico-tecnica e viene reimpiegato in altri cicli produttivi);
- ✔ attraverso il **recupero energetico** (il materiale recuperato viene usato come combustibile nei cosiddetti "termovalorizzatori", che in sostanza

[81] Rapporto annuale di FISE AssoAmbiente sul riciclo dei rifiuti, realizzato in collaborazione con ONR, Ricicla, CONAI e ComiEco, *L'Italia del recupero – Beni durevoli*, 2002.
[82] Ci si è avvalsi del contributo importante di Simone Contini, *La gestione dei beni durevoli dimessi: creazione del sistema Nazionale di raccolta, recupero e riciclaggio*, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, 2002.

sono centrali elettriche alimentate, anziché da petrolio o suoi derivati, da rifiuti).

Di conseguenza, il ricorso alla discarica come stadio ultimo del processo di riciclaggio e smaltimento è ridotto a percentuali in alcuni casi bassissime (è il caso di TRED CARPI che dichiara come meno del 3% del rifiuto trattato in azienda finisca in discarica).
La tabella ….. sintetizza il percorso seguito dalle varie parti che compongono il bene durevole, dopo che questo è stato disassemblato.

Tabella 6-14 Destinazioni di alcuni materiali recuperati

DOVE VANNO A FINIRE I MATERIALI RECUPERATI		
Clorofluorocarburi (CFC)	Incenerimento controllato	SMALTIMENTO
Rame	Fonderia	**RECUPERO**
Alluminio	Fonderia	**RECUPERO**
Poliuretano	Termovalorizzazione	**RECUPERO**
Plastiche	Impianto di selezione	**RECUPERO**
Olio	Consorzio oli esausti	**RECUPERO**
Vetro bonificato	Vetrerie	**RECUPERO**
Schede elettriche	Recupero indiretto	**RECUPERO**
Schede elettroniche	Recupero preziosi	**RECUPERO**
Batterie e pile	Inertizzazione	**SMALTIMENTO**
Legno	Consorzio Rilegno	**RECUPERO**

FONTE: Tred Carpi

Come si può notare, la maggior parte di ciò che si trova in un prodotto elettrico/elettronico può essere **recuperato**. Allo smaltimento in discarica viene quindi avviata una frazione marginale del rifiuto.
Rimane ora da analizzare il vero punto di interesse di questo paragrafo: la convenienza economica del recupero/riciclaggio dei beni durevoli dismessi.
A questo proposito, è utile fare riferimento all'esperienza dei riciclatori e al contributo di ASSOFERMET, l'associazione delle aziende italiane di recupero metalli (ferrosi e non). Assofermet rappresenta circa 500 imprese di recupero, che impiegano 10.000 addetti. Da Assofermet provengono informazioni molto interessanti: si fa presente che **il recupero di metalli dai beni durevoli dismessi** (soprattutto frigoriferi, lavatrici e lavastoviglie) **è un business già da parecchi anni**, prima ancora che il decreto Ronchi ne disponesse l'obbligo di raccolta e riciclaggio.
Il grande interesse nei confronti dei rifiuti metallici scaturisce dal fatto che l'Italia sia un **paese cronicamente deficitario in termini di rottami metallici**, che ancora oggi devono essere in parte importati per soddisfare il fabbisogno nazionale.

Finora, per recuperare metalli, i beni durevoli dismessi sono sempre stati trattati insieme ad altri rifiuti, quali veicoli fuori uso, biciclette ed altri rifiuti metallici, tutti sottoposti a processi di compattazione e/o triturazione, previa l'asportazione di eventuali componenti rivendibili o di parti compromettenti la purezza del metallo recuperato. E' sempre stata assente l'attenzione alla ecocompatibilità delle operazioni eseguite e alla fase di bonifica e messa in sicurezza dei beni durevoli dismessi. In sostanza, **il recupero di metalli dai rifiuti elettrici è sempre stato altamente redditizio** poiché i recuperatori, dopo aver "estratto" le parti di interesse, hanno avuto la possibilità di smaltire tutto il resto in discarica, a costi oltretutto abbordabili e senza l'obbligo di particolari adempimenti ambientali.
Attualmente, chi opera nel recupero e riciclaggio dei beni durevoli dismessi non può più permettersi il "lusso" di trattenere solo i materiali pregiati e disfarsi agevolmente di tutto il resto; è obbligato dalla legge a prendersi cura di tutte le sostanze/materiali che possono provocare danni all'ambiente (non consideriamo qui tutte quelle attività operanti nell'illegalità, che sono comunque ancora numerose). Questo rende meno attraente di prima il recupero dei rifiuti elettrici/elettronici poiché **la componente di ricavo risulta parzialmente erosa dai costi legati agli adempimenti ambientali**.
E' comunque certo che l'attività di recupero metalli da destinare al riciclaggio sia tuttora redditizia.
Un altro fattore (potenzialmente svantaggioso) sottolineato da Assofermet è la progressiva riduzione dei metalli all'interno dei beni durevoli (soprattutto frigoriferi e lavatrici): per avere prodotti più leggeri e, soprattutto, per contenere i costi; **sempre più spesso le plastiche sostituiscono i metalli**. Questo può contribuire senz'altro a ridurre il prezzo al consumo dei prodotti, ma può anche rendere meno "interessante" il riciclaggio del rifiuto, poiché questo comincia a perdere parte del suo valore, costituito sino ad oggi quasi esclusivamente dalla componente metallica.
La sfida del futuro, per garantire comunque un buon margine sul recupero di prodotti con un minor contenuto di metalli e una maggiore presenza di plastiche, **risiede nella possibilità di** avviare la totalità (o quasi) **delle plastiche al riciclaggio**. Questo dipende da fattori:

- **a monte**: i produttori realizzano i prodotti con plastiche poco complesse e facilmente riciclabili;
- **a valle**: i riciclatori sono dotati di tecnologie sofisticate in grado di separare le diverse tipologie di plastica garantendo elevati livelli di purezza delle stesse.

Ancora oggi, buona parte delle materie plastiche ricavate dalle fasi di smontaggio/triturazione dei beni durevoli non possiede quelle caratteristiche fisico/tecniche (purezza) necessarie per poter essere riciclate; in questi casi, il materiale viene avviato alla termovalorizzazione, ad un costo di circa 130 ex-Lit/kg, che appesantisce la redditività delle operazioni di trattamento
Tuttavia, interessanti osservazioni a questo proposito provengono dai riciclatori/recuperatori. Ci sono esempi di **impianti di trattamento virtuosi**, che essendo dotati di tecnologie avanzate per la selezione e la raffinazione delle varie tipologie di materie plastiche, sono in grado di inviarne al riciclaggio la quasi totalità, cosa che fino a qualche anno fa era improponibile. In questo risiede uno dei fattori

discriminanti della capacità di sopravvivenza e redditività delle imprese in questione: se la plastica è idonea al riciclaggio viene valutata circa 150 ex-Lit/kg, in caso contrario l'alternativa più conveniente è inviare il materiale al recupero energetico, che costa, come già detto, circa 130 ex-Lit/kg.

Dai due dati appena presentati emerge il notevole gap (circa 280 ex-Lit/kg) che separa le due alternative possibili. Moltiplicare questo differenziale per le migliaia di tonnellate di plastica di cui ogni azienda si trova a dover disporre fa scoprire variazioni monetarie molto rilevanti.
Essere in grado di ottenere una percentuale crescente di materie plastiche riciclabili dai rifiuti è quindi un imperativo per contribuire al mantenimento dell'efficienza economica del processo.
Essendo, quindi, *la plastica* il materiale emergente e clou del riciclo, della gestione, dell'inquinamento, rimandiamo al capitolo …. sulle plastiche un approfondimento analitico su di essa.

….QUALCHE CALCOLO ECONOMICO.
La maggior parte degli impianti italiani di trattamento beni durevoli dismessi è in grado di processare, con riferimento ai soli apparecchi refrigeranti, circa **150.000 pezzi all'anno**.
Sapendo che un apparecchio refrigerante contiene mediamente **6 kg di plastiche,** possiamo ipotizzare che un impianto a pieno regime si trovi a disporre di circa **900.000 kg di plastiche ogni anno**.

- IN IPOTESI DI TOTALE REIMMISSIONE SUL MERCATO DELLE PLASTICHE RECUPERATE: **L'AZIENDA RICAVA CIRCA ex-Lit. 135.000.000 (€69.700**);
-
- IN IPOTESI DI IMPOSSIBILITA' DI AVVIARE LE PLASTICHE AL RICICLAGGIO, L'ALTERNATIVA E' LA TERMOVALORIZZAZIONE: **L'AZIENDA SOSTIENE UN COSTO DI CIRCA ex-Lit. 117.000.000 (€ 60.400**).

La differenza tra le due alternative è notevole (circa ex-Lit. 252.000.000, €130.100).

Queste stime sono da considerarsi puramente "simboliche", e sono il risultato di una semplice rielaborazione di dati raccolti da fonti ufficiali; nonostante tutto, esse sono utili per mettere in risalto il **potenziale economico insito nella materia rifiuto**. Deve e
ssere interesse primario delle imprese di riciclaggio dotarsi delle tecnologie necessarie per trasformare questo potenziale in effettivo ricavo.

Preme inoltre sottolineare che le stime esposte considerano solo il segmento "apparecchi refrigeranti", escludendo quindi le **economie realizzabili su tutte le altre categorie di prodotti**.

Sempre a proposito delle plastiche, bisogna notare come anche **i produttori comincino a sentire forti incentivi alla realizzazione di prodotti con un'elevata percentuale di materiali facilmente riciclabili**. La loro (futura) ***responsabilità finanziaria per il riciclaggio*** dei loro prodotti li sta infatti portando a **concepire apparecchi la cui gestione a fine vita sia meno costosa possibile**.
Altro **fattore da segnalare**, condiviso da tutti i soggetti interessati al problema rifiuti elettrici/elettronici, è il **mutamento della composizione dei beni durevoli dismessi previsto per il futuro**: a fronte di un modesto incremento di rifiuti "tradizionali" quali frigoriferi, lavatrici, televisori ci si attende un aumento esponenziale delle dismissioni di apparecchi informatici e di telefonia mobile. Questo potrà tornare a vantaggio dei riciclatori, che si troveranno a gestire un crescente numero di **prodotti dismessi ad elevato "valore aggiunto"**, **contenenti cioè materiali pregiati da riavviare al recupero**.

6.14 L'innovazione di prodotto come strumento per ridurre i costi di riciclaggio

Attualmente, i costi da sostenere per il riciclaggio ambientalmente corretto dei rifiuti elettr(on)ici sono elevati. ***La componente principale di costo (o mancato ricavo) si manifesta nella fase iniziale e finale del processo di trattamento***.
La **fase iniziale** riguarda la messa in sicurezza dei rifiuti: si tratta di asportare i componenti, le sostanze e i materiali che possono comportare pregiudizio ambientale. Tutto ciò che viene isolato rispetto al resto del rifiuto (i tubi catodici contenenti piombo e polveri fluorescenti, gli oli e i fluidi refrigeranti e le schiume poliuretaniche dei frigoriferi e condizionatori contenenti CFC e HCFC, ecc…) deve essere scrupolosamente processato e destinato alle idonee forme di smaltimento. Le operazioni eseguite in fase iniziale richiedono un elevato contributo di manodopera e non generano alcuna voce di ricavo, poiché tutti i materiali/componenti recuperati non possono essere rivenduti sul mercato ma, al contrario, devono essere smaltiti secondo precise modalità, sostenendo costi anche rilevanti. E' il caso di CFC e HCFC, che una volta estratti dagli apparecchi refrigeranti, devono essere necessariamente essere avviati a termodistruzione controllata, con oneri elevati (circa 10.000 ex-Lit/kg, 5,17 €/Kg). Altro esempio è rappresentato dai costi per lo smaltimento controllato delle polveri fluorescenti presenti nel tubo catodico, quantificabile in circa 2 €/kg.
Nella **fase finale** del processo di trattamento si hanno a disposizione i materiali ricavati dal processo di triturazione delle carcasse degli apparecchi elettr(on)ici. Si tratta di ferro, rame, alluminio, acciaio, vetro, materiali preziosi, plastiche, ecc… A questo punto occorre vedere se la qualità e la purezza dei materiali ne consente la vendita (realizzando un ricavo che per certi materiali è elevato) oppure se l'unica opzione possibile è la distruzione/smaltimento (soluzione che comporta ulteriori costi). Il gap che separa le due alternative è notevole: la possibilità di rivendere sul

mercato del riciclaggio i materiali recuperati dal trattamento dei rifiuti è una discriminante di rilievo per stabilire la capacità di un'impresa di riciclaggio di sopravvivere e porsi sul mercato a prezzi competitivi. La capacità di estrarre dai rifiuti materiali di qualità e purezza tale da consentirne la rivendita è, in parte, funzione della tecnologia di trattamento posseduta dall'azienda di riciclaggio. Tuttavia, non si può negare che **prodotti realizzati con materiali facilmente riciclabili e separabili** fornirebbero un grande contributo alla possibilità di ottenere materiali idonei al riutilizzo in nuovi cicli produttivi. E' il caso delle plastiche, che nei prodotti che vengono trattati oggi (e che sono stati immessi sul mercato 5-10 anni fa), sono presenti in composizioni complesse (le plastiche miste) per le quali il riciclaggio è molto difficile. In un futuro, peraltro non troppo lontano, i prodotti saranno realizzati ricorrendo in gran parte all'impiego di plastiche semplici, che in fase di riciclaggio possono essere facilmente separate le une dalle altre e offerte sul mercato a livelli di purezza, e di prezzo, elevati. Sembra ora utile schematizzare **dove e come agisce l'innovazione di prodotto** in favore di un riciclaggio più semplice e, quindi, meno costoso:

- sulla **facilità di disassemblaggio delle varie componenti**:

un prodotto progettato in funzione del futuro smontaggio rende le operazioni più veloci, aumentando la potenzialità di trattamento degli impianti di riciclaggio e ottimizzando l'impiego di manodopera, che in questa fase è molto intenso;

- sulla **riduzione dei costi necessari per la bonifica e la messa in sicurezza** dei rifiuti contenenti sostanze pericolose:

i prodotti costruiti oggi sono già privi di alcuni materiali che rendono le operazioni di riciclaggio molto costose. Per esempio, non si usano più CFC e HCFC negli apparecchi refrigeranti (ciò significa che non ci sarà più bisogno di distruggerli seguendo procedure molto onerose). Nei nuovi prodotti non si impiegano più i ritardanti di fiamma bromurati (PBB e PBDE), gli interruttori contenenti mercurio e i condensatori con PCB. Tutti questi accorgimenti, più quelli in corso di studio, consentiranno, quando questi prodotti andranno rottamati (fra qualche anno) di eseguire le operazioni di riciclaggio con significativi risparmi rispetto ai costi sostenuti oggi. Ciò è dovuto al fatto che sarà molto più "blanda" la necessità di mettere in sicurezza e smaltire in modo controllato le sostanze pericolose, dal momento che queste saranno presenti in percentuali sempre minori all'interno degli apparecchi;

- sull'**aumento della quantità di materiale avviabile al riciclaggio** rispetto alla totalità dei materiali estratti dal rifiuto:

l'aumentata presenza di materiali di tipologia e qualità tale da poter essere riutilizzata permette di vendere sul mercato una maggiore quantità di materie prime "seconde" (incrementando le voci di ricavo) e di ridurre contestualmente l'esigenza di ricorrere a forme di smaltimento (riducendo le voci di costo).

In definitiva, l’innovazione di prodotto ha già intrapreso un cammino che porterà le imprese di riciclaggio verso una tendenza rassicurante: **la progressiva riduzione dei costi** e il contestuale **aumento delle fonti di ricavo** nelle operazioni di trattamento/riciclaggio. Questi vantaggi economici sono, al momento, ancora “sulla carta”, dal momento che i rifiuti trattati oggi corrispondono a prodotti immessi sul mercato 5-10 anni fa, quando le esigenze di ecocompatibilità dei prodotti elettrici/elettronici non erano “pressanti” come oggi. Per apprezzare i benefici dell’innovazione di prodotto sul settore del riciclaggio bisognerà aspettare ancora qualche anno: il tempo necessario affinché i prodotti costruiti secondo criteri ambientalmente sostenibili vengano dismessi.

CAP. VII ANALISI DEGLI ELEMENTI E DEI COMPOSTI

Si possono di seguito elencare gli elementi e i composti **contenuti** nei RAEE più importanti dai punti di vista dello smaltimento, recupero e pericolosità:

- **Pb**
- **plastiche non biodegradabili**
- **Hg**
- **Cd**
- **ritardanti di fiamma bromurati**
- **PCB**
- **schiume poliuretaniche**
- **CFC**
- **HCFC**
- **Cr VI**
- **PBB**
- **PBDE**
- **Fe**
- **Al**
- **Cu**
- **Zn**
- **Au**
- **plastiche clorurate**
- **Ge**
- **Ga**
- **Sn**
- **Ba**
- **Ni**
- **Ta**
- **In**
- **V**
- **Tb**
- **Be**
- **Eu**
- **Ti**
- **Ru**
- **Co**
- **Pd**
- **Mn**
- **Ag**
- **Sb**
- **Bi**
- **Se**

- **Nb**
- **Y**
- **Rh**
- **Pt**
- **As**
- **Si**
- **P**
- **O**

Vediamoli evidenziati nella Tavola periodica degli elementi:

Tabella 7-1 Tavola periodica degli elementi vista … dai RAEE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I a	II a	III b	IV b	V b	VI b	VII b	VIII b	VIII b	VIII b	I b	II b	III a	IV a	V a	VI a	VII a	VIII a
H																	He
Li	**Be**											B	**C**	N	**O**	**F**	Ne
Na	Mg											**Al**	**Si**	**P**	S	**Cl**	Ar
K	Ca	Sc	**Ti**	**V**	**Cr**	**Mn**	**Fe**	**Co**	**Ni**	**Cu**	**Zn**	**Ga**	**Ge**	**As**	**Se**	**Br**	Kr
Rb	Sr	**Y**	Zr	**Nb**	Mo	Tc	**Ru**	**Rh**	**Pd**	**Ag**	**Cd**	**In**	**Sn**	**Sb**	Te	I	Xe
Cs	**Ba**	La	Hf	**Ta**	W	Re	Os	Ir	**Pt**	**Au**	**Hg**	Tl	**Pb**	**Bi**	Po	At	Rn
Fr	**Ra**	Ac	Unq	Unp	Unh												

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	**Eu**	Gd	**Tb**	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw

Come possiamo notare è impiegata, nella costruzione e nella protezione delle apparecchiature elettriche ed elettroniche, gran parte della tavola periodica; questo porta ad un grande impiego di forze, capacità e soldi per procurarsi materiale talvolta raro, prezioso, delicato ma anche pericoloso.
Una volta, poi, che il prodotto ha vissuto il suo arco di vita, sempre più breve perché sottoposto a forte innovazione tecnologica dei suoi "simili", emerge il problema dello smaltimento e del calcolo della convenienza o meno di un eventuale recupero.
Le materie prime seconde di telefonini, PC, stampanti, monitor, calcolatrici e via dicendo, infatti, da una parte si trovano con molta difficoltà e con l'impiego di ingenti sforzi finanziari, dall'altra si possono smaltire in maniera sempre meno grossolana e "fuori legge".
Fino ad ora, invero, la legge della Natura poco ha potuto di fronte alla sensibilità e alle esigenze finanziarie dell'uomo, sotto e sopra il range di rispetto naturale, rispettivamente; ma il punto in cui si è dovuto, obbligatoriamente, darsi delle regole per continuare a procedere con la tecnologia convivendo in maniera decente con ciò che ci sta attorno, alla fine è arrivato.
Con le nuove proposte, direttive e quindi sanzioni e burocrazia a livello Europeo, Nazionale e forse Mondiale (gli altri hanno o più spazi da inquinare prima di

scoppiare o meno esigenze verso l'Hi-Tech), privati e aziende dovranno dapprima capire, poi sensibilizzarsi, poi lavorare in direzione della differenziazione, del recupero e dello smaltimento dei loro gioielli rapidamente consumabili, o beni *poco durevoli*, che dir vogliamo.
A questo punto, in relazione a pericolosità per la Natura e l'uomo e a opportunità economica di reimpiego di certe sostanze, si prenderanno delle decisioni per l'uno o l'altro **elemento**, l'uno o l'altro **composto** nei prodotti considerati, come già qualcuno fa.
Qui si daranno alcuni spunti di analisi e riflessione.

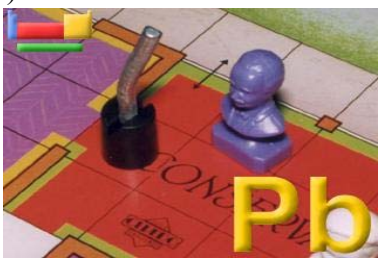
7.1 Analisi delle sostanze contenute nei RAEE[83]

Verrà fatta una descrizione dei vari elementi e composti **in ordine di presenza e pericolosità**.

Il Piombo [${}^{82}_{4/2}Pb^{207.19}_{4f^{14}5d^{10}6s^{2}6p^{2}}$ **]**

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	4.799 kJ/mol	327.502°C	177.70 kJ/mol	1740°C

è un metallo grigio, pesante, malleabile, tenero, usato per leghe facilmente fusibili. Si ottiene per riduzione da minerali quali la galena (PbS). raro allo stato naturale. È solubile in acido nitrico, ma poco attaccabile dall'acido cloridrico e dall'acido solforico a temperatura ambiente. Reagisce lentamente con l'acqua, in presenza d'aria, per formare idrossido di piombo, un composto leggermente solubile. Fra tutte le sue applicazioni, quelle inerenti alle apparecchiature elettriche ed elettroniche rappresentano l'1,5-2.5% del totale. Tra gli altri usi si distinguono le pile (63%), i tubi ed i prodotti da costruzione (9%), gli additivi della benzina (2%)[84] e gli stabilizzanti nel cloruro di polivinile (PVC). Il piombo è usato, oltre che in enormi quantità nelle batterie, come rivestimento di cavi elettrici, tubi, serbatoi e negli apparecchi per i raggi X. Per la sua elevata densità e la grande sezione di cattura, il piombo trova impiego come sostanza schermante per i materiali radioattivi. Numerose leghe contenenti un'alta percentuale di piombo sono utilizzate nella saldatura, per i caratteri da stampa, per gli ingranaggi. Una quantità considerevole di composti di piombo è inoltre consumata nelle vernici e nei pigmenti. Le principali applicazioni nei prodotti tecnologici comprendono la microsaldatura di circuiti stampati e altri componenti elettrici, additivo nei rivestimenti plastici (PVC) dei cavi elettrici, il vetro dei tubi catodici, batterie, schermi antiradiazione, la saldatura ed il



[83] Le immagini sono tratte dal sito http://www.webelements.com .
[84] Con l'utilizzo della unleaded gasoline si sta abbassando considerevolmente il livello del piombo nell'aria. Restano tuttora rilevanti le emissioni dovute ad operazioni estrattive, trattamento, fusione, raffinazione, riciclo e smaltimento del metallo in questione.

vetro di lampadine e tubi fluorescenti.
Il piombo è un metallo particolarmente velenoso e cumulativo per le donne incinte, i feti, i neonati e i bambini fino a 6 anni di età che rappresentano le fasce di popolazione più suscettibili agli effetti negativi per la salute . Questo metallo, assorbito attraverso il cibo, il terreno e la polvere, può causare danni al sistema nervoso centrale e periferico delle persone, nonché effetti al sistema endocrino, al sistema circolatorio e ai reni. Il piombo penetra negli alimenti per mezzo delle piogge acide (deposizione sulle piante) e, in misura meno rilevante, attraverso l'assorbimento dal terreno delle piante. Gli studi disponibili condotti sugli animali dimostrano che il piombo è cancerogeno.
E' noto inoltre che il piombo si accumula nell'ambiente con effetti tossici elevati, acuti e cronici, su piante, animali e microrganismi .

Ferro:

$[{}^{26}_{2/3}Fe^{55.847}_{3d^6\,4s^2}]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	13.80 kJ/mol	1535°C	349.60 kJ/mol	2861°C

è un metallo duro, duttile, di colore grigio. Quarto elemento più abbondante della crosta terrestre, nono dell'universo. Si ottiene per estrazione (riduzione) da minerali quali l'ematite (Fe_2O_3), la magnetite (Fe_3O_4) e la limonite (FeOOH). Essenziale per la vita animale, quale componente dell'emoglobina. Presente in molti componenti ma soprattutto nelle strutture, nelle casse e negli involucri.

Alluminio:

$[{}^{13}_{3}Al^{26.9815}_{3s^2\,3p^1}]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	10.790 kJ/mol	660.37°C	293.40 kJ/mol	2519°C

Metallo leggero, fragile, malleabile, di colore argenteo. Terzo elemento più abbondante della crosta terrestre. Si ottiene per elettrolisi della bauxite (Al_2O_3) fusa. Elevata resistenza all'ossidazione in quanto è possibile passivarlo artificialmente. Elemento numero 1 nella per presenza negli involucri degli elettrodomestici bianchi e negli chassis, facilmente recuperabile. Caratterizzato da buona conducibilità elettrica, esso viene spesso utilizzato in sostituzione del rame nella trasmissione di elevati voltaggi a lunghe distanze. Conduttori in alluminio, estremamente leggeri, sono oggi usati per trasmettere tensioni di oltre 700.000 volt.

Rame: $[\,{}^{29}_{2/1}Cu^{63.54}_{3d^{10}\,4s^{1}}\,]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	13.050 kJ/mol	1083°C	300.30 kJ/mol	2567°C

Metallo duro, duttile, malleabile, di colore rosso-bruno. Resistente alla corrosione. Ottimo conduttore elettrico. Raro allo stato elementare. Si ottiene per estrazione da minerali quali la calcopirite ($CuFeS_2$) e la covellite (CuS).Naturalmente utilizzato come conduttore di punta e super ricercato nel post fine vita.

Il **Cadmio**[85] $[\,{}^{48}_{2}Cd^{112.40}_{4d^{10}\,5s^{2}}\,]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	6.192 kJ/mol	321°C	99.570 kJ/mol	765°C

è un metallo bianco-blu, duttile, tenero e malleabile, usato per leghe a basso punto di fusione.

Si ottiene come sottoprodotto della raffinazione dello zinco dal quale viene separato mediante distillazione frazionata o elettrolisi. Il cadmio viene usato soprattutto nella cadmiatura, un trattamento metallurgico mediante il quale viene depositato su superfici metalliche, in modo particolare di ferro o acciaio, per ottenere un sottile strato protettivo. In lega con piombo, stagno e

[85] Per le analisi di Cadmio, Piombo, Mercurio, Cromo, Ritardanti di fiamma bromurati, Plastiche, Berillio, Fosforo, Nichel e Zinco ci si è avvalsi in modo importante di dati tratti ed elaborati da: Dossier *Far e-waste, l'altra faccia della tecnologia*, Consorzio Ecoqual'It, Milano, 2003.

bismuto viene utilizzato per preparare metalli fusibili che trovano impiego nella produzione di varie apparecchiature elettriche; inoltre, in lega con lo zinco, viene usato nella fabbricazione di cuscinetti e nella saldatura.
Il cadmio metallico, grazie all'elevato potere di assorbimento dei neutroni, viene utilizzato nelle barre di controllo per i reattori nucleari. I sali di cadmio trovano impiego in campo fotografico e nella fabbricazione di gomme, vernici fluorescenti, vetri e porcellane. Il solfuro (CdS), un composto giallo chiaro che si ottiene come precipitato da soluzioni di sali di cadmio in cui si faccia gorgogliare solfuro di idrogeno, è usato come pigmento e trova applicazione anche nella realizzazione di celle fotovoltaiche; le celle elettrochimiche a nickel-cadmio inoltre sono ampiamente utilizzate in settori specialistici. E' presente in alcuni componenti dei circuiti stampati come, per esempio, i rilevatori a infrarossi e semiconduttori. E' possibile riscontrare la sua presenza anche nei tipi vecchi di tubi a raggi catodici, in alcune batterie, come stabilizzatore nel cloruro di polivinile (PVC) e come additivo nelle polveri luminescenti.
I composti di cadmio sono molto tossici con un possibile rischio di effetti irreversibili sulla salute umana, accumulandosi nei reni , nelle ossa e nel sangue. L'assorbimento da parte dell'uomo può avvenire attraverso il respiro, inalando cioè particelle di cadmio, ma anche attraverso ingerimento di alimenti contaminati. Caratterizzato da tempi di eliminazione lunghi (10-30 anni), il cadmio determina i seguenti effetti sulla salute dell'uomo come: disfunzione renale, disturbi della crescita, danni allo scheletro e carenze riproduttive. Si sospetta anche che questo metallo provochi il cancro al fegato, ai polmoni e alla prostata .

Il Mercurio [${}^{80}_{2/1}Hg^{200.59}_{4f^{14}5d^{10}6s^2}$]

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
liquido	2.295 kJ/mol	-38.87°C	59.229 kJ/mol	356.58°C

è l'unico metallo liquido a temperatura standard, pesante, di colore grigio argenteo, lucente, capace di sciogliere quasi tutti i metalli. Si estrae da minerali quali il cinabro (HgS). In alcuni giacimenti di cinabro può trovarsi mercurio allo stato elementare. Il suo rilascio nell'atmosfera, dovuto ad attività umane, è di circa 2.000-3.000 tonnellate l'anno. Rispetto al consumo mondiale annuo di mercurio, quello per le apparecchiature elettriche ed elettroniche rappresenta il 22%. Questo metallo liquido è usato principalmente nei termostati, nei sensori di posizione[86], nei relais, schermi piatti e negli interruttori (ad esempio circuiti stampati, apparecchiature di misura e lampade a vapori di mercurio a scarica e, una volta, interruttori a gravità utilizzati in alcuni tipi di congelatori). Il mercurio è anche

[86] Secondo la direttiva WEEE, nell' UE, 300 t di mercurio sono state usate nei sensori di posizione.

usato in apparecchiature mediche, per la trasmissione dei dati, le telecomunicazioni e i telefoni mobili.
Viene assorbito facilmente dagli organismi e trasferito, tramite i pesci, nella catena alimentare. Nelle persone, il mercurio, può determinare lesioni al cervello soprattutto nelle parti che ne controllano la vista, il coordinamento e l'equilibrio. Il metallo, a livello inorganico, se sparso nell'acqua si trasforma in mercurio metilato nei sedimenti del fondo. Il mercurio metilato è facilmente accumulato dagli organismi viventi e si concentra nella catena alimentare attraverso il pesce ; ingerito dalle donne gravide può essere trasmesso, per mezzo della placenta, all'embrione e, nei casi gravi, i bambini possono nascere con lesioni celebrali e gravi carenze mentali[87] .
Viste e considerate le possibili contaminazioni sui pesci, anche gli uccelli che si cibano in ambiente acquatico saranno esposti a carichi critici di mercurio. L'avvelenamento causato da questo metallo è considerato, da molti scienziati, il motivo per cui molte specie di uccelli rischiano l'estinzione. Il mercurio è altamente tossico, sia in forma di vapore sia come sale solubile. L'avvelenamento cronico da mercurio, che insorge quando piccole quantità dei suoi sali liposolubili, in particolare il metilmercurio, vengono ingerite per lunghi periodi, causa danni irreversibili al cervello, al fegato e ai reni.

Il **Cromo** [${}^{24}_{6/3/2}Cr^{51.996}_{3d^5\,4s^1}$]

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
Solido	16.90 kJ/mol	1857°C	344.30 kJ/mol	2672°C

è un metallo duro, grigio chiaro (bianco-blu nel metallo puro), resistente alla corrosione. Si ottiene per estrazione da minerali quali la cromite [$Fe,Mg(CrO_4)$]. Usato in molte leghe per la sua elevata resistenza alla corrosione, soprattutto unito al ferro (acciaio al cromo). Per quanto riguarda il **Cromo esavalente (Cromo VI)**, rispetto ai metalli pesanti appena trattati (cadmio, piombo, mercurio), su questo metallo esistono notevoli carenze d'informazione ma sappiamo che, con questa valenza, è fortemente tossico per l'Ambiente e per l'uomo; inoltre, solubile in acqua, entra nella catena alimentare tramite i pesci ed è tossico per lo stesso ecosistema marino. Nell'ambito delle apparecchiature elettriche ed elettroniche, questo metallo trova applicazione come rivestimento anticorrosivo dei gusci in metallo ed è presente nei ritardanti di fiamma

[87] In seguito ai più recenti studi inerenti gli effetti indesiderati del mercurio, sotto la spinta dell'EPA (US Environmental Protection Agency) si è arrivati ad una graduale riduzione del mercurio nei prodotti elettronici commerciali.
In particolare, fin dagli anni '80, i produttori di batterie hanno ridotto il loro utilizzo di mercurio del 98%; analogamente per le lampade fluorescenti il medesimo è stato ridotto del 75%. Fonte: Consorzio Tecnoimprese Editore s.r.l., Rivista "AV&Elettronica", anno XIV, n°. 1/2002, Milano, Arti Grafiche Stefano Pinelli.

bromurati.
Attraversando facilmente le membrane cellulari dell'uomo, il cromo può danneggiare seriamente il DNA. Piccole sue concentrazioni nell'ambiente possono inoltre causare reazioni allergiche come la bronchite asmatica. Inoltre il cromo VI è considerato, da alcuni anni, genotossico, cioè potenzialmente dannoso per il DNA.
Si ritiene che i composti del cromo esavalente siano tossici anche per l'ambiente.

Ritardanti di fiamma bromurati: sono utilizzati per garantire la protezione contro l'infiammabilità di alcune parti delle apparecchiature elettriche ed elettroniche. I bifenili polibromurati (PBB) e gli eteri di difenile polibromurati[88] (PBDE), sono utilizzati in quattro principali applicazioni: circuiti stampati, componenti per i connettori, rivestimenti in plastica (televisori e elettrodomestici da cucina) e cavi. Secondo una stima danese, i RAEE rappresentano circa il 78% del tenore totale di ritardanti di fiamma bromurati nei rifiuti. I ritardanti di fiamma hanno un ruolo molto importante nella apparecchiature elettriche ed elettroniche. **Si stima che in un PC siano presenti 1,7 kg di ritardanti di fiamma**. Una simile stima dà **2 kg di ritardanti di fiamma nella copertura plastica di un televisore**. Il 78% dei ritardanti di fiamma sono bromurati così come il 69% degli additivi. Pur essendoci ritardanti al fosforo o altro, i più efficaci sono proprio quelli bromurati .
L'etere difenilpolibromurato (PBDE), è uno dei costituenti dei ritardanti di fiamma. Questi composti sono contaminanti (sono trovate delle tracce in Svezia) e sono presenti sia nell'ambiente che nelle aree industrializzate. Attraverso test su animali si è provato che questi contaminanti provocano disordine nella riproduzione, inoltre hanno un alta tossicità acquatica e si bioaccumulano.

Qui, di seguito, sono riportate le formule di struttura dei più comuni ritardanti di fiamma.

[88] I tre gruppi di PBDE commercialmente disponibili sono il penta, octa e decabromodifeniletere (5-BDE, 8-BDE e 10-BDE).

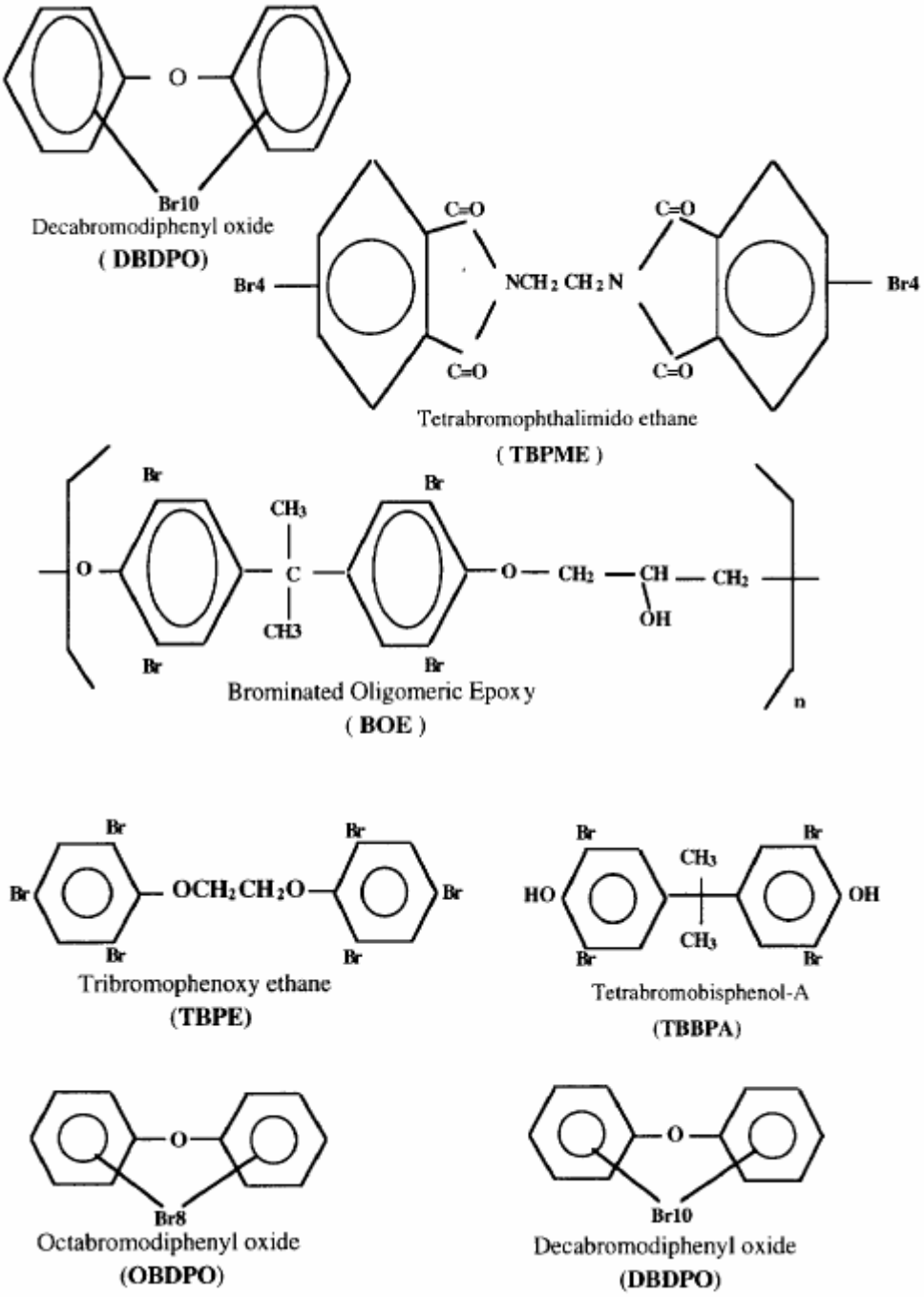


Figura 7-1[89] Formule di struttura dei più comuni ritardanti di fiamma

La nota dolente di questi composti è che durante la pirolisi, questa classe di composti, produce dibenzo-p-**diossine** e dibenzo-**furani**.

[89] N.Menad,Bo.Bjorkman,Eric G.Allain, *Combustion of plastics contained in electric and electronic scrap*, Resources, Conservation and Recycling 24, 1998, 65-85.

La preoccupazione nasce dal fatto che nel sangue di alcuni operatori degli impianti di riciclo sono state rilevate concentrazioni elevate di PBDE. Di conseguenza l'industria chimica, in particolare quella tedesca, ha smesso di produrre PBDE nel 1986 . Secondo varie osservazioni scientifiche, i PBDE, così come i PBB, possono determinare sull'uomo effetti sul fegato, sull'ormone della tiroide nonché il tumore al sistema digestivo.
La presenza, invece, di bifenili polibromurati (PBB) in campioni di foche indica una vasta distribuzione geografica del problema. I percorsi noti di PBB da fonti localizzate in ambiente acquatico sono le zone di produzione degli stessi e le discariche[90] . Insolubili in acqua, è possibile riscontrarli sia nei sedimenti dei laghi sia dei fiumi inquinati. Una volta immessi nell'ambiente essi possono penetrare nelle catena alimentare dove si concentrano. Attraverso i pesci, essi passano rapidamente in mammiferi ed uccelli. Se negli animali è stato riscontrato un assorbimento di PBB notevole, non sussistono attualmente documenti che dimostrano la degradazione ed il danneggiamento delle piante.

Plastiche, incluso il PVC: la quantità di plastiche contenuta in un computer medio può arrivare fino a 6 - 7 Kg. La maggior percentuale di Plastiche (26%) usate in elettronica è rappresentata dal polivinilcloruro (PVC). Il PVC si trova normalmente nei cavi e nelle casse per alloggiare il computer, anche se spesso è sostituito con plastiche ABS, in qualche modo meno nocive. Il PVC è stato a lungo usato per la sua proprietà di ritardare la combustione in caso di incendio. Come nel caso di molti altri composti che contengono cloruri, se il PVC brucia a determinate temperature si forma **diossina**. *Parlare approfonditamente di plastiche è semplicemente impossibile, vista la varietà dei tipi e la relativa diversità delle macromolecole coinvolte*.

Diossine, Furani e PCB: con il termine[91] «diossine» si fa riferimento a sostanze diverse con caratteristiche chimiche e proprietà simili: le policlorodibenzodiossine – PCDD -, e i policlorodibenzofurani – PCDF). A causa delle simili caratteristiche di tossicità, a queste due famiglie di composti si aggiungono generalmente ipoliclorobifenili - PCB-
Le diossine sono formate da due anelli aromatici uniti tra loro da ponti ossigeno (due per le PCDD, uno solo per i PCDF), e caratterizzati dalla sostituzione di uno o più atomi di idrogeno con atomi di cloro (Figura 3). In particolare la tossicità è causata dalla simultanea presenza di atomi di cloro nelle posizioni 2,3,7,8, mentre, una volta verificata questa condizione, si osserva una diminuzione della tossicità stessa con l'aumentare del grado di clorurazione. A titolo di esempio, dunque, la 1,2,3,7,8,9-HxCDD è meno tossica della 2,3,7,8-TCDD, mentre la 1,2,7,8-TCDD ha tosicità nulla.
Grazie a tutte le possibili disposizioni degli atomi di cloro sulla struttura di base, la famiglia delle PCDD comprende 75 composti, fra cui il più noto e il più tossico è

[90] Secondo la direttiva, i PBB sono risultati 200 volte più solubili nel percolato di discarica che nell'acqua distillata. La causa sta nel livello di acidità del terreno sottostante le discariche; la conseguenza è la contaminazione del terreno e delle falde acquifere.
[91] Da www.dsa.unipr.it/trezzo/uni_parma .

rappresentato dalla 2,3,7,8-tetraclorodibenzodiossina (o 2,3,7,8-TCDD). E' forse la sostanza più tossica che si conosca, e si misura in nanogrammi, cioè in miliardesimi di grammo.
La famiglia chimica dei PCDF è invece formata da 135 composti, i cui effetti sono identici a quelli della diossina.

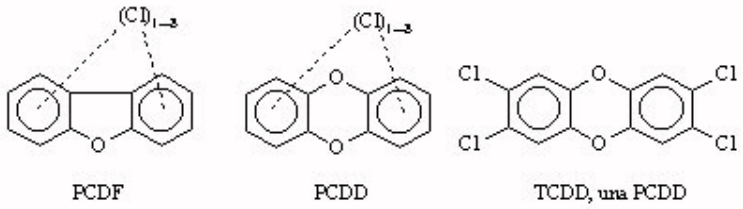


Figura 7-2 Formule di struttura per PCDD e PCDF

Le diossine vengono generate da tutti i processi di combustione e sono estremamente tossiche, anche a basse concentrazioni.
Purtroppo le molecole di questi composti sono estremamente resistenti (vengono distrutte solo per combustione a oltre 800 °C.) e quindi una volta immesse nell'ambiente ne inquinano tutti i cicli vitali e si diffondono ovunque.
I PCB sono una categoria di composti organici derivati dal bifenile per sostituzione (più o meno numerosa) degli atomi d'idrogeno con atomi di cloro. I PCB si presentano sotto l'aspetto di olii a bassa viscosità, di colore giallino, ma di peso specifico superiore a quello dell'acqua. Ciò significa che mentre un comune olio minerale galleggia sull'acqua i PCB in essa affondano (ovviamente nulla si può dire rispetto a miscele dei due componenti).
le diossine sono prodotte quando il processo di combustione dei materiali contenenti cloro avviene in difetto di ossigeno e a temperature inferiori a 800°C. Negli impianti di incenerimento sono tuttavia obbligatori già da parecchio tempo degli accorgimenti tecnici che garantiscano la permanenza dei fumi di combustione ad una temperatura non inferiore a 850°C per un tempo sufficientemente lungo da garantire la completa distruzione di tutti i prodotti di combustione incompleta, tra cui appunto le diossine. Di particolare interesse risultano inoltre i meccanismi di riformazione delle diossine nelle sezioni "fredde" degli impianti di incenerimento (caldaia, sistemi di depolverazione). Tali meccanismi possono essere minimizzati mediante una serie di accorgimenti tecnici, e comunque le diossine prodotte vengono rimosse mediante sistemi di adsorbimento o ossidazione catalitica, fino al rispetto dei più restrittivi limiti di legge.

I PCB sono stati a lungo utilizzati nella fabbricazione delle componenti elettriche (plastificanti, nella produzione di adesivi, fluidi dielettrici nei condensatori con quantità tra i 30 e i 90g per ciascuna unità, trasformatori elettrici) e devono la loro diffusione alla forte resistenza all'attacco di acidi e basi e all'alta costante dielettrica.. L'utilizzo di questi composti è stato abbandonato in quanto è accertata la loro tossicità. Permangono comunque i problemi legati alla dismissione e sostituzione dei PCB nelle apparecchiature degli scorsi decenni, anche per quanto riguarda la contaminazione (spesso fraudolenta) di olii minerali (ad esempio degli

olii usati idraulici o dei motori dei veicoli) o di terreni presso i quali sono avvenute dispersioni (anche accidentali) di PCB. Le diossine stesse possono essere a loro volta contaminanti (in tracce) dei PCB, presenti già nel prodotto iniziale oppure formatesi durante l'utilizzo dei PCB. I componenti contenenti PCB, vista la pericolosità della sostanza, devono essere raccolti e stoccati separatamente per essere, successivamente, trattati in centri specializzati. I PCB rientrano nella categoria dei POP (Persistent Organic Pollulants); essi sono infatti persistenti, poco biodegradabili, idrofobici, ed a bassa capacità di migrazione. I PBC hanno un elevato potenziale di accumulo e sono miscibili negli oli e nei grassi; il loro trasferimento ai lipidi ed ai grassi degli organismi viventi viene facilitato dall'assunzione di acqua, piante e sedimenti contaminati, trasferendosi,tramite la catena alimentare,agli animali ed all'uomo. I PCB possono essere assorbiti sotto forma di vapori attraverso l'apparato respiratorio, per contatto attraverso la pelle e per ingestione. Sull'uomo si possono avere manifestazioni tossiche di carattere acuto (irritazione delle vie respiratorie, depressione neurologica, astenia, torpore, vomito, acne clorica epigastralgia) o cronico (tumori, acne, eczema, iperpigmentazione, cutanea, edemi palpebrali, e congiutivali, anemia, depressione del sistema immunitario, epatopatia cronica).

Il **Berillio** [$^{4}_{2}Be^{9.0122}_{1s^2\,2s^2}$]

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	12.20 kJ/mol	1287°C	292.40 kJ/mol	2472°C

è un metallo grigio acciaio, duro; è il più leggero dei metalli rigidi. Chiamato un tempo Glucinio (Gl). Oltre all'isotopo stabile sono noti cinque isotopi artificiali. Si trova in molti minerali, quali il berillo [$AlBe_3(Si_6O_{18})$] ed il crisoberillo (Al_2BeO_4). Può essere anche prodotto per elettrolisi del $BeCl_2$. Usato nell'industria aereospaziale per la sua capacità di assorbire grandi quantità di calore. Utilizzato nella costruzione di lampade fluorescenti e come refrattario. Considerato un buon conduttore di elettricità e calore, non magnetico. Queste proprietà rendono il Berillio adatto a molti usi industriali, incluse le applicazioni elettroniche per i computer. Nei computer il Berillio si trova comunemente nelle schede madri e nelle "finger clips" sotto forma di lega Berillio Rame, che serve ad aumentare la tensione dei connettori e delle minispine, mentre mantiene la conduttività elettrica. Essendo trasparente ai raggi X, il berillio trova impiego nei tubi a raggi X. Sebbene i prodotti del berillio siano assolutamente innocui, i vapori e le polveri rilasciati durante la produzione sono estremamente tossici ed è necessaria molta attenzione per evitare di respirarne anche piccolissime quantità: le persone che lavorano a contatto con gli ossidi di berillio usano infatti particolari dispositivi di protezione. Il berillio è utilizzato nella fabbricazione di strumenti e apparecchi come computer, laser e televisori.

Il Berillio è stato classificato di recente come un cancerogeno umano dato che una lunga esposizione ad esso può essere causa di cancro ai polmoni. La maggior

preoccupazione per la salute riguarda l'inalazione di fumi, aerosol e polvere di Berillio. I lavoratori che sono esposti in maniera costante, anche in piccole quantità, possono sviluppare quella che è chiamata malattia cronica da Berillio, Berillicosi, una patologia che colpisce i polmoni. L'esposizione al Berillio dà origine anche a una forma di malattia della pelle, caratterizzata da uno scarso potere di cicatrizzazione e da protuberanze simili alle verruche. Alcuni studi hanno dimostrato che le persone possono sviluppare la malattia anche dopo anni rispetto all'esposizione.

Fosforo e additivi metallici: il Fosforo [${}^{15}_{\pm 3/5/4}P^{30.9738}_{3s^2\,3p^3}$]

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	0.657 kJ/mol	44.1°C	12.129 kJ/mol	277°C

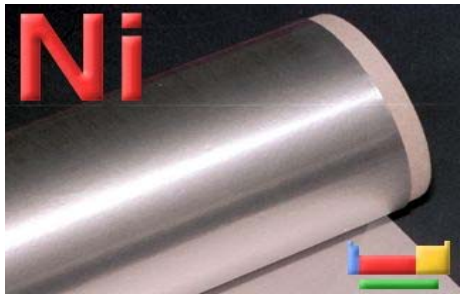
è un composto chimico inorganico che si applica come rivestimento sull'interno della facciata anteriore dei CRT (tubi a raggi catodici). Si presenta in diversi stati allotropici: ad es. il F. bianco è un solido fosforescente, infiammabile all'aria. Il F. rosso

(amorfo) è una polvere brunastra. Si ottiene per estrazione dai fosfati, per riscaldamento con silice e coke a 1500 °C. Il fosforo è inoltre un costituente di alcune leghe, ad esempio della lega realizzata con bronzo e rame, con eccellenti proprietà meccaniche e di resistenza all'usura. Il Fosforo agisce sulla risoluzione e sulla luminosità della immagine vista sullo schermo. I pericoli del fosforo nei CRT non sono molto noti o riportati, ma la Marina Militare degli USA parla senza mezzi termini di pericoli in alcune delle sue linee guida: "Non toccare mai un rivestimento in fosforo: è estremamente tossico. Se rompete un CRT, pulite i frammenti di vetro con molta attenzione. Se toccate il fosforo richiedete un controllo medico immediatamente". Il rivestimento di Fosforo contiene metalli pesanti, come **cadmio** e altri metalli ferrosi, come **zinco** e **vanadio**, utilizzati in qualità di additivi. Questi metalli e i loro composti sono molto tossici. Questo è un serio pericolo che si presenta a coloro che smontano i CRT a mano.

Nichel (o Nichelio) [${}^{28}_{2/3}Ni^{58.71}_{3d^8\,4s^2}$ **]**

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	17.470 kJ/mol	1453°C	370.40 kJ/mol	2913°C

: scoperto nel 1751 il nome deriva dal tedesco "falso rame" o "diavoletto". Il Nichel è usato in molte leghe e come ricoprente attraverso elettrodeposizione per la sua resistenza alla corrosione. Metallo duro, duttile, malleabile, di colore grigio chiaro. Resistente alla corrosione. Si ottiene per estrazione da minerali quali la pentlandite



$[(Ni,Fe)_9S_8]$ e la millerite (NiS). Con il cadmio forma la coppia redox nelle batterie, la rimozione di tali componenti deve avvenire prima di qualsiasi trattamento sulle carcasse dei beni dismessi. E' impiegato anche come catalizzatore e nelle monete metalliche. Il fenomeno ormai noto delle reazioni allergiche che moltissime persone presentano al contatto prolungato con il nichel, ha comportato l'uso limitato di questo metallo nella moneta unica Europea.
E' stata in particolare la Svezia a chiedere di ridurre al minimo la presenza del nichel nelle monete europee, a favore di una lega a base di rame, il cosiddetto "nordic gold".

Lo **Zinco** [${}^{30}_{2}Zn^{65.37}_{3d^{10}4s^2}$]

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	7.322 kJ/mol	419.59°C	115.30 kJ/mol	907°C

è un elemento considerato essenziale per l'uomo. Metallo duro, duttile, malleabile, di colore grigio chiaro. Facilmente passivabile. Si ottiene per estrazione da minerali quali la blenda (ZnS) e la smithsonite ($ZnCO_3$).
Dopo il potassio, il calcio e il magnesio, costituisce il metallo presente in concentrazione più elevata nella cellula. La carenza di zinco provoca, nell'uomo, alterazioni cutanee, ritardi di crescita, difetti scheletrici. Il solfuro è usato in dispositivi che sfruttano fenomeni di elettroluminescenza, di fotoconduttività e di semiconduttività, come i rivestimenti fluorescenti e i tubi catodici collegati allo schermo televisivo. Usato per rivestimenti galvanici di altri metalli, in lega con il rame (ottone). L'ossido (ZnO) è usato come pigmento bianco per vernici. I composti dello zinco sono relativamente atossici per l'uomo a causa di un meccanismo omeostatico efficiente di questo elementoLo zinco

è presente, nel caso di computer e monitor, sia come rivestimento di alcuni metalli sia in lega con il rame (ottone) nei circuiti stampati; inoltre può venire utilizzato anche nei tubi a raggi catodici. Tuttavia, i fumi e le polveri di zinco possono provocare disturbi respiratori cronici. L'inalazione di aria contenente zinco da 1 a 34 mg/m^3 produce la cosiddetta "febbre da fumi metallici" caratterizzata da ipertermia, malessere, depressione, nausea, secchezza delle fauci e delle cute, cefalea, sintomi molto simili a quelli di una forma influenzale. Gli effetti tossici dello zinco derivano dalla interazione con altri elementi come ferro, manganese e calcio.

I **Clorofluorocarburi (CFC) e gli Idroclorofluorocarburi (HCFC)**[92] si trovano all'interno delle serpentine del circuito di refrigerazione dei frigoriferi e dei condizionatori d'aria, prodotti prima dell'anno 1995. I frigoriferi di più recente produzione contengono invece gli idrofluorocarburi (HFC) o gli idrocarburi (HC), sostanze non messe al bando dal protocollo di Montreal. Comunque anche queste ultime devono essere tenute sotto controllo visto che la prima è tra le sostanze responsabili dell'effetto serra e la seconda presenta caratteristiche di infiammabilità. Normalmente si tratta di quantità non superiori ai 100 g. I "CFC" dannosi per l'ozono stratosferico (una volta raggiunta la stratosfera reagiscono con l'Ozono formando Ossigeno semplice) contenuti nel circuito di refrigerazione sono gli R12 e R502. I composti organoalogenati devono essere recuperati, seguendo delle procedure specifiche, anche dall'olio di lubrificazione dei compressori. 100-200 g di CFC (R11) possono essere contenuti nelle **schiume poliuretaniche** espanse (in quanto usati come espandenti), usate come isolamento termico. Questa frazione di CFC viene liberata in fase gassosa durante l'operazione di triturazione delle carcasse, dovendo, pertanto, essere recuperata tramite appositi sistemi (generalmente sistemi a condensazione/adsorbimento). Con il termine di refrigeranti si intendono tutte quelle sostanze composte da 3 tipi di elementi chimici: il Cloro, il Fluoro e il Carbonio.

Le proprietà di trasporto del calore dei refrigeranti di natura chimica dipendono dalla composizione, cioè da quali elementi entrano a far parte della loro molecola. A loro volta tali proprietà determinano il comportamento caratteristico del fluido durante le varie fasi del ciclo frigorifero: espansione, evaporazione, compressione, condensazione. Tutti i refrigeranti di natura chimica (CFC, HCFC, HFC) derivano dal metano, dall'etano e dal propano (idrocarburi): prendendo essi come sostanze di base è possibile giungere, attraverso opportuni processi di natura chimica, alla produzione dei refrigeranti così come li conosciamo.
Tali processi consistono sostanzialmente nella sostituzione di alcuni degli atomi di idrogeno e carbonio che compongono gli idrocarburi con altri atomi (fluoro e, un tempo, cloro e bromo).
A seconda del numero e del tipo di atomi che vengono inglobati, la nuova sostanza sintetizzata possiede determinati requisiti termodinamici e di trasporto del calore. Giocando opportunamente su questi due parametri è possibile ottenere sostanze che rispondono a determinati requisiti e che le rendono idonee all'utilizzo nelle macchine frigorifere: tali sostanze sono i fluidi frigoriferi a tutti ben noti.

Con il termine di refrigeranti del passato si intendono tutti quei refrigeranti, normalmente in uso fino a pochi anni fa, composti da tre tipi di elementi chimici: il cloro, il fluoro ed il carbonio. Da qui la loro denominazione di cloro-fluoro-carburi (CFC).

[92] Da Linee Guida ANPA.

Tabella 7-2 Denominazione ASHRAE[93] di alcuni refrigeranti CFC

Sigla	Denominazione	Composizione chimica
R10	tetracloruro di carbonio	CCl4
R11	tricloro-fluoro-metano	CFCl3
R12	dicloro-difluoro-metano	CF2Cl2
R13	cloro-trifluoro-metano	CF3Cl
R111	pentacloro-fluoro-etano	C2FCl5
R112	tetracloro-difluoro-etano	C2F2Cl4
R113	tricloro-trifluoro-etano	C2F3Cl3
R114	tetrafluoro-dicloro-etano	C2F4Cl2
R115	pentafluoro-cloro-etano	C2F5Cl
R211	eptacloro-difluoro-propano	C3F2Cl7
R212	esacloro-difluoro-propano	C3F2Cl6
R213	pentacloro-trifluoro-propano	C3F3Cl5
R214	tetracloro-tetrafluoro-propano	C3F4Cl4
R215	tricloro-pentafluoro-propano	C3F5Cl3
R216	dicloro-esafluoro-propano	C3F6Cl2
R217	cloro-eptafluoro-propano	C3F7Cl

Come si può notare, ciascun tipo di refrigerante si differenzia dall'altro unicamente per il numero di atomi di cloro, fluoro, carbonio presenti nella sua composizione chimica.
Tutti i refrigeranti CFC possiedono queste importanti proprietà:

- sono fluidi molto stabili chimicamente (cioè mantengono inalterate le loro proprietà nelle più svariate condizioni fisiche)
- non risultano tossici per l'uomo
- non sono infiammabili
- garantiscono un buon rendimento della macchina frigorifera in rapporto al loro quantitativo d'impiego
- possiedono in generale un basso punto di ebollizione alla pressione atmosferica
- non pongono particolari problemi di utilizzo (ad esempio di solubilità con gli oli minerali lubrificanti del compressore , di compatibilità con i materiali elettrici isolanti del motore, nelle procedure di carica e reintegro della carica, ecc.)
- venivano prodotti a costi relativamente contenuti

[93] American Society of Heating, Refrigeratine and Air-Conditioning Engineers.

Per tali ragioni dagli anni trenta sono stati utilizzati senza problemi nel campo della refrigerazione e del condizionamento.
In sessant'anni di studi e ricerche le aziende produttrici sono riuscite a produrre fluidi dalle buone caratteristiche termodinamiche a costi abbastanza contenuti.
Non si sono mai preoccupate però (visto che il problema non sussisteva fino a poche decine di anni fa) dell'impatto che tali fluidi avevano sull'atmosfera, una volta liberati in essa.
A causa della combinazione tra fluoro e cloro la composizione chimica dei CFC è talmente stabile che può rimanere invariata anche per decine di anni, una volta che sono stati immessi nell'atmosfera: in tale periodo di tempo il gas raggiunge la zona più "esterna" dell'atmosfera dove il cloro in esso contenuto reagisce con l'ozono diminuendone così la quantità e creando il cosiddetto "buco dell'ozono".
La stabilità chimica permette ai CFC, inoltre, che essi vadano col passare degli anni accumulandosi nell'atmosfera contribuendo in tal modo ad accentuare il cosiddetto effetto serra.

Dal 31 dicembre 2000 l'utilizzo dei CFC, anche nelle operazioni di manutenzione e di ricarica di impianti per la refrigerazione ed il condizionamento già esistenti, è proibito.

Per rendere meno stabile la composizione dei fluidi refrigeranti basta sostituire il cloro presente nella molecola con idrogeno.
Questo conferisce maggiore instabilità alle molecole di fluido una volta immesse in atmosfera, ove tendono a decomporsi più rapidamente, mentre non incide sulla stabilità chimica e fisica del refrigerante (ossia non implica la formazione di sostanze o composti nuovi) quando si trova all'interno di un impianto frigorifero.
Se l'idrogeno sostituisce solo in parte il cloro che è presente nella molecola dei CFC si ottengono gli idroclorofluorocarburi (HCFC) mentre se lo sostituisce completamente si ottengono gli idrofluorocarburi (HFC).

Contenendo cloro, gli HCFC risultano avere un impatto non nullo sull'impoverimento dello strato di ozono stratosferico (ODP).
Per tale ragione è già stata programmata la loro progressiva eliminazione.
Il Regolamento CE 2037/00 fissa le tappe per la progressiva dismissione dell'uso degli HCFC sia come fluidi frigoriferi sia nella produzione di schiume.

I principali refrigeranti idroclorofluorocarburi e la rispettiva formula chimica sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 7-3 Principali refrigeranti idroclorofluorocarburi

Sigla	Formula chimica	Sigla	Formula chimica
R21	$CHFCl_2$	R225	$C_3HF_5Cl_2$
R22	CHF_2Cl	R226	C_3HF_6Cl
R31	CH_2FCl	R231	$C_3H_2FCl_5$
R121	C_2HFCl_4	R232	$C_3H_2F_2Cl_4$

R122	$C_2HF_2Cl_3$	R233	$C_3H_2F_3Cl_3$
R123	$C_2HF_3Cl_2$	R234	$C_3H_3F_4Cl_2$
R124	C_2HF_4Cl	R235	$C_3H_2F_5Cl$
R131	$C_2H_2FCl_3$	R241	$C_3H_3FCl_4$
R132	$C_2H_2F_2Cl_2$	R242	$C_3H_3F_2Cl_3$
R133	$C_2H_2F_3Cl$	R243	$C_3H_3F_3Cl_2$
R141	$C_2H_3FCl_2$	R244	$C_3H_3F_4Cl$
R142	$C_2H_3F_2Cl$	R251	$C_3H_4FCl_3$
R151	C_2H_4FCl	R252	$C_3H_4F_2Cl_2$
R221	C_3HFCl_6	R253	$C_3H_4F_3Cl$
R222	$C_3HF_3Cl_5$	R261	$C_3H_5FCl_2$
R223	$C_3HF_3Cl_4$	R262	$C_3H_5F_2Cl$
R224	$C_3HF_4Cl_3$	R271	C_3H_6FCl

L'eliminazione completa del cloro dalla composizione dei refrigeranti ha portato alla nascita degli idrofluorocarburi (HFC), refrigeranti che hanno effetto nullo per quanto riguarda il buco dell'ozono.
Tuttavia anche tali fluidi non sono perfettamente eco-compatibili, in quanto la loro liberazione in atmosfera contribuisce ad aumentare l'effetto di surriscaldamento della Terra (effetto serra).

Il successo di questo tipo di refrigeranti non è stato finora esaltante, soprattutto per quanto riguarda l'utilizzo come fluidi puri.
Questo è dovuto soprattutto al fatto che i fluidi HFC non offrono nella maggior parte dei casi prestazioni comparabili con i refrigeranti CFC e HCFC, per cui l'operazione di retrofit dei vecchi impianti non risulta sempre di semplice e possibile effettuazione.

La seguente tabella riporta alcuni refrigeranti HFC:

Tabella 7-4 Più adottati refrigeranti HFC

Sigla	Formula chimica
R23	CHF_3
R32	CH_2F_2
R125	CHF_2CF_3
R134a	CH_2FCF_3
R143a	CH_3CF_3
R152a	CH_3CHF_2

Uno dei pochi HFC che si è imposto sul mercato e che viene utilizzato allo stato puro è l'R134a, utilizzato con successo nella sostituzione dell'R12 alle medie ed alte

temperature, e nella refrigerazione domestica.
Il suo utilizzo avviene anche negli impianti di climatizzazione dei veicoli dopo il divieto d'uso negli stessi dell'R22.
Comunque nella riconversione di impianti da R12 a R134a, a parità di potenza del compressore, l'R134a fornisce una resa frigorifera leggermente inferiore dell'R12, soprattutto per le temperature di evaporazione più basse.

Per alcuni refrigeranti HFC (ad esempio l'R32, l'R143a, l'R152a) esiste il problema infiammabilità, cosa sicuramente questa che non contribuisce a decretarne il loro successo d'utilizzo come fluidi puri.

Oggigiorno gli HFC trovano maggior impiego come componenti di miscele. L'opportuno dosaggio di più fluidi HFC (ed eventualmente anche HCFC) permette di ottenere determinati composti che posseggono le caratteristiche termodinamiche necessarie a sostituire i refrigeranti CFC ed HCFC negli impianti esistenti.

L'utilizzo di tali miscele pone però, talvolta, alcune problematiche nuove.

La dismissione dei CFC e la volontà di eliminare progressivamente gli HCFC ha obbligato alla ricerca di nuovi refrigeranti.
Tranne che per l'R134a, gli HFC non trovano larga applicazione come fluidi puri.
Per la sostituzione dei CFC e HCFC sono disponibili sul mercato molte tipologie di miscele, alcune transitorie (e che quindi dovranno essere dismesse, in quanto contengono HCFC) ed altre invece definitive.

Tabella 7-5 Sostituzioni dei vecchi CFC, tipi di impianto e tipo di sostituzione (transitoria o definitiva)

Refrigerante	Nome commerciale	Sostituisce	Tipo di impianti	Olio	Trans/Def
R134a		R12	ref. domestica ref. commerciale (temperatura positiva)	sintetico	def.
		R22	condizionamento veicoli	PAG	def
R23		R13	bassissime temperature	sintetico	def
R404A	ForaneFX70 - SuvaHP62 - Klea404A - Genetron404A - Isceon404A - Meforex55 - Solkane 404A	R502	ref. commerciale (temperature negative)	sintetico	def

R407C	Suva9000 - Klea407C - Forane407C - Genetron407C - Isceon407C - Solkane407C - Meforex95	R22	condizionamento residenziale e commerciale	sintetico	def
R408A	ForaneFX10 - Suva408A	R502	ref commerciale	minerale-AB	trans
R409A	ForaneFX56 - Genetron409A - Klea409A - Suva409A - Solkane 409A	R12	ref commerciale	minerale-AB	trans
R410A	Klea410A - GenetronAZ20 - Meforex98 - Suva9100 - Forane410A - Solkane410A	R22	condizionamento residenziale e commerciale	sintetico	def
R413A	Isceon49	R12	condizionamento veicoli	minerale	trans
R417A	Isceon 59	R22	condizionamento residenziale e commerciale	minerale	def
R419A	Forane FX90	R22	condizionamento residenziale e commerciale	minerale	def
R507	Meforex57 - Suva507 - Forane507 - Isceon507 - Solkane507 - GenetronAZ50	R502	ref commerciale	sintetico	def
R508B	Suva95 - Forane508B	R13 - R503	bassissime temperature	sintetico	Def

Le schiume di poliuretano possono contenere CFC o altri frigorigeni. Fino ad ora, infatti, le schiume poliuretaniche hanno contenuto in particolar modo CFC 11. Dal punto di vista chimico un " Uretano " è l'estere di un acido carbamico

$$R' - NH - \underset{\underset{O}{||}}{C} - OR$$

Schematicamente un poliuretano è la ripetizione di questo gruppo in una catena

molecolare e può essere ottenuto dalla reazione di polimerizzazione di un polialcool (poliolio) con un poliisocianato.

$$nHO-R-OH+nOCN-R^{'}-NCO \rightarrow (R-O-\underset{\underset{O}{||}}{C}-NH-R^{'}-NH-\underset{\underset{O}{||}}{C}-O)_n$$

Per produrre una schiuma di poliuretano, la reazione di polimerizzazione viene combinata con una reazione di espansione, ottenuta:

- attraverso un processo chimico: alla miscela viene aggiunta dell'acqua che reagisce con l'isocianato e genera biossido di carbonio

$$R-NCO+H_2O \rightarrow R-NH_2+CO_2$$

- attraverso un processo fisico: mediante un rigonfiante a basso punto di ebollizione, che si trasforma in stato gassoso per l'aumento di temperatura che si sviluppa durante la reazione esotermica di polimerizzazione.

E' da notare che la schiuma di poliuretano contenuta negli isolamenti di un apparecchio "del freddo" può contenere fino a 3 volte i gas nocivi all'Ozono stratosferico contenuti nel circuito frigorifero.

Gli **Olii minerali o sintetici**[94] sono contenuti nel compressore inserito nel circuito di refrigerazione dei frigoriferi e dei condizionatori. Le quantità oscillano intorno ai 300 g per unità. Il recupero può avvenire direttamente dal compressore; inoltre, dopo la bonifica dal CFC presente, devono essere raccolti in appositi contenitori per essere presi in carico dal Consorzio obbligatorio degli olii usati, che si occuperà del successivo riciclaggio.

Il **Bario**

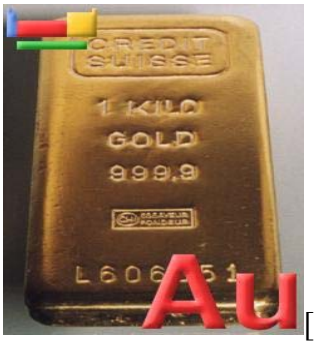
[${}^{56}_{2}Ba^{137.34}_{6s^2}$]

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
Solido	7.750	725°C	142.0 kJ/mol	1640°C

[94] Da Linee Guida ANPA.

	kJ/mol			

, sotto forma di ossido, viene comunemente utilizzato nei vetri dei tubi a raggi catodici. Metallo tenero, grigio-argento, malleabile. Si estrae dalla baritina ($BaSO_4$) e dalla witherite ($BaCO_3$). Come solfato è usato in radiologia come mezzo di contrasto. Nell'industria delle vernici il $BaSO_4$ unito al ZnS forma il litopone, pigmento bianco coprente. Usato nei tubi catodici e sottovuoto.

Oro: 

$[{}^{79}_{3/1}Au^{196.967}_{4f^{14}5d^{10}6s^{1}}]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
Solido	12.550 kJ/mol	1064.43°C	334.40 kJ/mol	2808°C

Metallo giallo, lucente, tenero. Si estrae allo stato elementare o da leghe naturali con l'argento. Usato, oltre che per leghe da oreficeria, per strumenti da laboratorio, in elettronica. E' estremamente resistente alla corrosione. Usato in elettronica, soprattutto nei connettori e per la conduzione, presente nelle schede e nei chip.

Silicio: $[{}^{14}_{\pm 4}Si^{28.086}_{3s^2 3p^2}]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	50.550 kJ/mol	1410°C	384.220 kJ/mol	3265°C

La forma cristallina ha aspetto metallico grigiastro; la forma amorfa quella di polvere marrone. Settimo elemento più abbondante dell'universo, secondo della crosta terrestre. Si ottiene per reazione della silice(SiO_2) col carbone a 2200 °C o per estrazione da altri silicati. Il silicio ed i suoi composti sono usati nell'industria vetraria, nell'industria dei semiconduttori ed in quella chimica (siliconi). È un semiconduttore: a temperatura ambiente è caratterizzato da una resistenza elettrica compresa tra quella dei metalli e quella degli isolanti, che può essere modificata mediante l'aggiunta di piccole quantità di impurezze (processo di drogaggio). Data la sua abbondanza in natura e la possibilità di controllare le sue

proprietà elettriche, il silicio trova importanti impieghi nell'industria elettronica per la produzione di transistor e di circuiti integrati. La silice e i silicati sono usati nella produzione del vetro, della ceramica, degli smalti, del cemento e della porcellana. La silice fusa, ottenuta fondendo il quarzo o idrolizzando il tetracloruro di silicio, ha basso coefficiente di espansione ed elevata resistenza agli agenti chimici. Il monossido di silicio SiO, l'unico composto noto in cui il silicio presenti numero d'ossidazione 2, viene usato per creare degli strati protettivi su altri materiali, che protegge ossidandosi a diossido SiO2.

Germanio:

$[{}^{32}_{4}Ge^{72.59}_{3d^{10}4s^2 4p^2}]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	36.940 kJ/mol	937.4°C	330.90 kJ/mol	2830°C

Metallo morbido di colore grigio chiaro. Si ottiene per estrazione del diossido (GeO_2), come prodotto secondario, da minerali dello zinco. Usato nell'industria dei semiconduttori ed in quella dei vetri. I cristalli di germanio, preparati in modo opportuno, hanno la proprietà di rettificare la corrente elettrica. L'elemento, classificato tra i semiconduttori, trova impiego nella produzione dei transistor e a questo scopo viene "drogato" con elementi trivalenti o pentavalenti. L'ossido di germanio viene usato nella produzione di vetri ottici.

Gallio:

$[{}^{31}_{3}Ga^{69.72}_{3d^{10}4s^2 4p^1}]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
Solido	5.590 kJ/mol	29.78°C	258.70 kJ/mol	2204°C

Metallo morbido di colore bianco-blu, fonde a bassissima temperatura. Si ottiene per estrazione, come prodotto secondario, da minerali quali la bauxite e la germanite. Usato nell'industria dei semiconduttori, nella produzione dei LED e per la costruzioni di laser al GaAs (arseniuro di gallio). Come l'acqua, il gallio può essere sottoraffreddato e si espande per solidificazione. Grazie all'elevato punto d'ebollizione e al basso punto di fusione è sfruttato nella costruzione di termometri per alte temperature. Alcuni suoi composti inoltre sono eccellenti semiconduttori e vengono perciò usati nella produzione di componenti di raddrizzatori, transistor, fotoconduttori e diodi a laser e a maser.

Stagno: [${}^{50}_{4/2}Sn^{118.69}_{4d^{10}5s^2\,5p^2}$]

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
Solido	7.029 kJ/mol	231.97°C	295.80 kJ/mol	2602°C

Metallo bianco-argento, tenero, duttile e malleabile. Si estrae per lo più dalla cassiterite (SnO_2) e dalla stannite (Cu_2FeSnS_4). Usato in leghe con l'acciaio,in quanto non tossico e non corrosivo. Usato in leghe saldanti (33%Sn, 67%Pb). Il bronzo è una lega costituita dal 20% di Sn e da 80% di Cu. È importante nella preparazione di leghe molto comuni, quali il bronzo (stagno e rame), la lega per saldatura (stagno e piombo) e il metallo per cuscinetti (stagno, piombo e antimonio) . Il solfuro stannico (detto oro musivo) viene utilizzato in polvere per ricoprire materiali in solfato di calcio o legno.

Tantalio: [${}^{73}_{5}Ta^{180.948}_{4f^{14}5d^{3}6s^{2}}$]

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	31.60 kJ/mol	2996°C	743.0 kJ/mol	5429°C

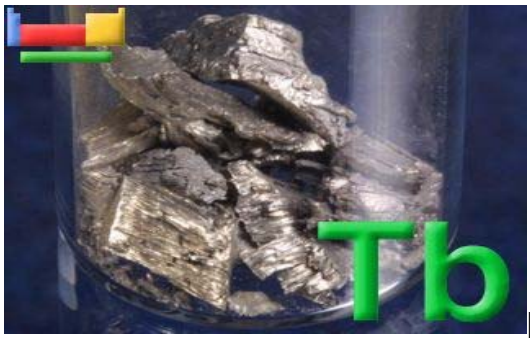
Metallo duro, pesante, grigio, duttile, malleabile. Ha un alto punto di fusione. Si trova, in tracce, nella tantalite ($FeTa_2O_6$) e nella olovotantalite [Ta,Nb,Sn,Fe,Mn)O_2]. Il pentossido (Ta_2O_5) è utilizzato per la costruzione di lenti ad alta rifrazione.
Essendo più resistente del platino a molti agenti corrosivi, il tantalio sostituisce il platino nei pesi standard e negli accessori da laboratorio. Si usa principalmente per i condensatori nei circuiti elettronici e nei circuiti rettificanti a basso voltaggio, ma anche negli scambiatori di calore chimici.

Indio: [${}^{49}_{3}In^{114.82}_{4d^{10}5s^{2}5p^{1}}$]

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
Solido	3.263 kJ/mol	156.61°C	231.50 kJ/mol	2080°C

Metallo bianco-argento, molto tenero, raro. Si trova in piccole quantità in minerali dello zinco. Usato in leghe dentali, nei semiconduttori e, in lega con altri metalli, per

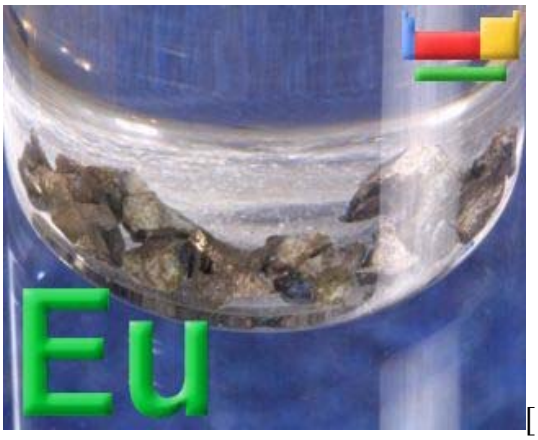
abbassarne il punto di fusione. Viene usato per preparare leghe con metalli non ferrosi, per aumentare la durezza e la resistenza di altre leghe. Alcuni composti di indio sono eccellenti semiconduttori.

Terbio: 

$[\,^{65}_{3/4}Tb^{158.924}_{4f^9 5d^0 6s^2}\,]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
Solido	10.80 kJ/mol	1356°C	330.90 kJ/mol	~2500°C

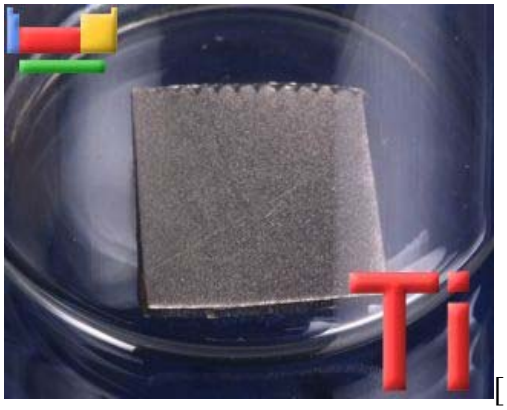
Metallo grigio-argento, tenero, duttile. Si trova, come le altre terre rare, in tracce nella monazite [$Ce(PO_4)$]. In tracce anche nello xenotimo (YPO_4) e nella euzenite [$Y(Nb,Ti,Ta)_2(O,OH)_6$]. Utilizzato nell'industria elettronica in alcuni tipi di laser.

Europio: 

$[\,^{63}_{3/2}Eu^{151.96}_{4f^7 5d^0 6s^2}\,]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
Solido	9.210 kJ/mol	824°C	143.50 kJ/mol	~1500°C

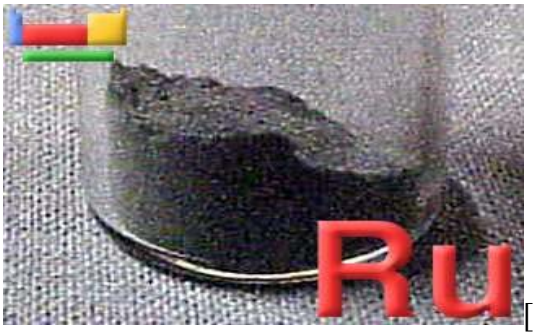
Metallo grigio-argento, tenero. Si trova, come le altre terre rare, in tracce nella monazite [$Ce(PO_4)$]. Utilizzato nell'industria elettronica, con l'ossido di ittrio per produrre fosfori rossi dei tubi catodici.

Titanio: 

$[\,^{22}_{4/3}Ti^{47.90}_{3d^2\,4s^2}\,]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	15.450 kJ/mol	1668°C ±10°C	421.00 kJ/mol	3287°C

Metallo di colore scuro, leggero e resistente. Nono elemento più abbondante della crosta terrestre. Si ottiene per estrazione dai minerali rutilo (TiO_2), ilmenite ($FeTiO_3$) e titanite ($CaTiSiO_5$). Usato in molte leghe per la sua elevata resistenza agli acidi. Il biossido (TiO_2) è usato come pigmento bianco nelle vernici.

Rutenio: 

$[\,^{44}_{2/3/4/6/8}Ru^{101.07}_{4d^7\,5s^1}\,]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	24.0 kJ/mol	2335°C	595.0 kJ/mol	~ 4100°C

Metallo raro grigio-argenteo, molto fragile. Si trova in piccole quantità in minerali quali la pentlandite [$(Ni,Fe)_9S_8$]. Usato in leghe con platino e palladio, alle quali conferisce maggiore durezza. La lega rutenio molibdeno transisce allo stato superconduttivo a temperature inferiori a -263 °C. Il metallo allo stato puro è estremamente resistente all'attacco degli acidi.

Cobalto: $[\,{}^{27}_{2/3}Co^{58.933}_{3d^7\,4s^2}\,]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
Solido	16.190 kJ/mol	1495°C	376.50 kJ/mol	2927°C

Metallo duro, duttile, di colore grigio-blu. Proprietà magnetiche. Si ottiene per estrazione da minerali quali la cobaltite (CoAsS) e la linneite (Co_3S_4), o come sottoprodotto della raffinazione di nickel, ferro e rame. Usato in leghe con il ferro, nell'industria ceramica e vetraria (i suoi sali danno colorazione blu).

Palladio: $[\,{}^{46}_{2/4}Pd^{106.4}_{4d^{10}\,5s^0}\,]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
Solido	17.60 kJ/mol	1554°C	357.0 kJ/mol	2950°C

Metallo morbido, bianco-argenteo, duttile, malleabile. Si estrae da minerali del platino, del rame, del mercurio e del nichelio. Usato in leghe preziose in sostituzione dell'argento. Usato come catalizzatore. Viene utilizzato principalmente nel campo delle comunicazioni, per ricoprire i contatti elettrici negli interruttori automatici.

Manganese:

$[\,{}^{25}_{7/6/4/2/3}Mn^{54.938}_{3d^5\,4s^2}\,]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	12.050 kJ/mol	1244°C	226.0 kJ/mol	2061°C

Metallo duro, di colore grigio chiaro. In polvere fine è pirofosforico. Si ottiene per estrazione (riduzione) da minerali quali la pisolusite (MNO_2), la rodocrosite ($MnCO_3$) e la barunite (Mn_2O_3).
Usato in molte leghe dell'acciaio, nella produzione di batterie e nelle ceramiche. E' un elemento essenziale per la vita delle piante.

Argento:

$[\,{}^{47}_{1}Ag^{107.870}_{4d^{10}\,5s^1}\,]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	11.30 kJ/mol	961.93°C	250.580 kJ/mol	2160°C

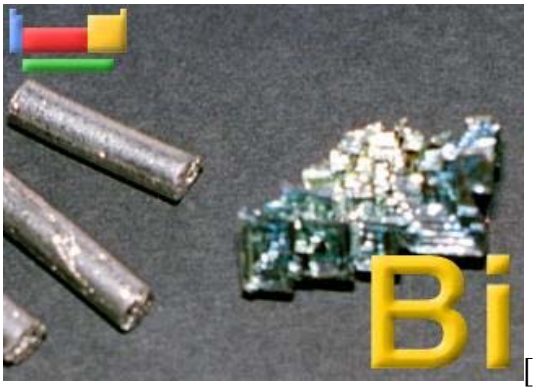
Metallo bianco-argenteo, duttile, malleabile. Si trova allo stato elementare. Si estrae anche da minerali quali l'argentite (Ag_2S), l'argento rosso (Ag_3AsS_3) e la stromeyerite (CuAgS). Usato in leghe preziose. I composti sono usati nell'industria fotografica. Attualmente grandi quantità del metallo vengono utilizzate nella produzione di componenti elettronici o di circuiti elettrici.

Antimonio:

$[{}^{51}_{+3/5}Sb^{121.75}_{4d^{10}5s^2 5p^3}]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
Solido	19.870 kJ/mol	630.75°C	77.140 kJ/mol	1587°C

Semimetallo bianco-argento, duro. Si estrae per lo più dalla stibnite (Sb_2S_3) e dagli ossidi valentinite e senarmontite (Sb_2O_3). Usato in leghe con altri metalli per incrementarne la durezza. Utilizzato nei semiconduttori e nell'industria chimica.

Bismuto: 

$[{}^{83}_{3/5}Bi^{208.980}_{4f^{14}5d^{10}6s^2 6p^3}]$

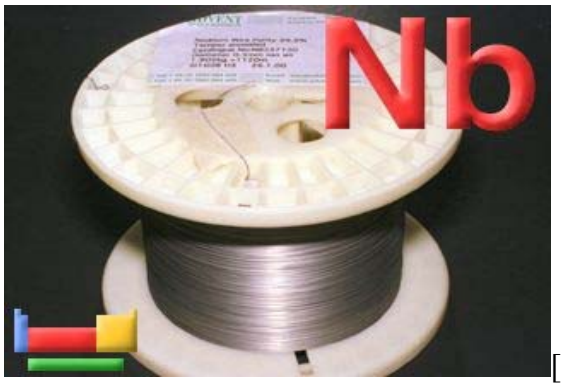
Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
Solido	11.30 kJ/mol	271.3°C	104.80 kJ/mol	1560°C

Semi-metallo grigio-rosa, duro. Si ottiene per riduzione da minerali quali la bismutina (Bi_2S_3) e l'ocra di bismuto (Bi_2O_3). Raro allo stato naturale. Usato in farmacologia e per costruire leghe a basso punto di fusione. Le leghe Bi-Mn smagnetizzano molto lentamente, per cui sono utilizzatenella costruzione di magneti permanenti. È fortemente diamagnetico, non conduce calore ed elettricità; poiché la sua resistenza elettrica è incrementata dai campi magnetici, viene impiegato nella costruzione di particolari strumenti di misurazione.

Selenio: $[\,^{34}_{-2/4/6}Se^{78.96}_{3d^{10}4s^2 4p^4}\,]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	6.694 kJ/mol	217°C	37.70 kJ/mol	684.9°C

Semimetallo morbido di aspetto variabile, dal grigio metallico al rosso, di norma simile allo zolfo. Si ottiene come sottoprodotto della raffinazione di piombo, nichelio e rame. Conduce elettricità quando colpito dalla luce. Usato nell'industria elettronica nella costruzione di fotocellule, esposimetri. Colora i vetri di rosso. Il selenio grigio è un buon conduttore di elettricità, e la sua conducibilità è direttamente proporzionale all'intensità luminosa, ossia l'elemento conduce meglio alla luce che all'oscurità, e per questo motivo è molto usato in numerosi apparecchi fotoelettrici. Piccole quantità di selenio vengono aggiunte alla gomma vulcanizzata per accrescerne la resistenza all'abrasione.



Niobio: $[\,^{41}_{5/3}Nb^{92.906}_{4d^4 5s^1}\,]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	26.40 kJ/mol	2468°C ±10°C	682.0 kJ/mol	4927°C

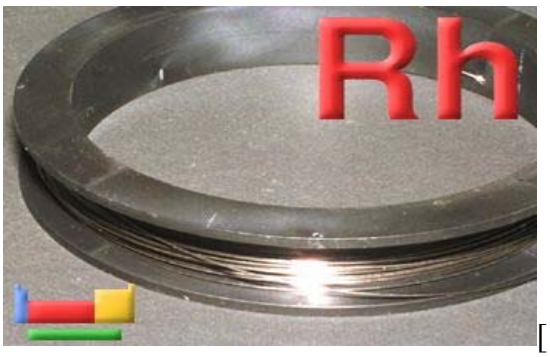
Metallo biancastro, molle, duttile. Si estrae dai minerali columbite ($FeNb_2O_6$) e manganocolumbite ($MnNb_2O_6$) .
Usato in leghe speciali con ferro e nichelio. In lega con stagno, alluminio o zirconio possiede caratteristiche di superconduttore.

Ittrio:

[${}^{39}_{3}Y^{88.905}_{4d^1 5s^2}$]

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
Solido	11.40 kJ/mol	1509°C	363.0 kJ/mol	2927°C

Metallo duttile, di colore argenteo. Costituito da un solo isotopo. Si può estrarre da minerali quali lo xenotimo (YPO_4). Presente, in quantità variabili, nella monazite ($CePO_4$). Usato nell'industria elettronica, ad es. per produrre i fosfori rossi dei tubi catodici televisivi.

Rodio: 

[${}^{45}_{2/3/4}Rh^{102.905}_{4d^8 5s^1}$]

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
Solido	21.50 kJ/mol	1966°C ±3°C	493.0 kJ/mol	~ 3700°C

Metallo duro, bianco-argenteo. Si ottiene come sottoprodotto della raffinazione del nichelio. Usato in leghe con platino, ad es. nella costruzione di termocoppie.

Platino:

[${}^{78}_{2/4}Pt^{195.09}_{4f^{14}5d^9 6s^1}$]

Stato di aggregazione	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione

a 25°C				
solido	19.60 kJ/mol	1773°C	510.0 kJ/mol	3827°C

Metallo bianco-argenteo, lucente, tenero. Si estrae allo stato elementare. Usato per leghe da oreficeria, come catalizzatore, per strumenti da laboratorio. E' estremamente resistente
alla corrosione. Viene utilizzato anche per realizzare contatti elettrici e negli strumenti per misure di temperature elevate.

Arsenico:

$[\,^{33}_{\pm 3/5}As^{74.922}_{3d^{10}4s^2 4p^3}\,]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	-	817°C a 28 atm	34.760 kJ/mol	613°C (sublima)

Semimetallo di colore grigio chiaro. Si ottiene per estrazione dell'arsenopirite (FeAsS) o da altri arsenuri. Raro allo stato elementare. Usato nell'industria dei semiconduttori, come indurente delle leghe di piombo. Alcuni composti, come l'arseniuro di gallio (GaAs), sono invece usati nell'industria dei semiconduttori e nella fabbricazione dei materiali per i laser.

Vanadio: $[\,^{23}_{5/4/3/2}V^{50.942}_{3d^3 4s^2}\,]$

Stato di aggregazione a 25°C	Calore di fusione	Temperatura di fusione	Calore di vaporizzazione	Temperatura di ebollizione
solido	20.90 kJ/mol	1890°C ±10°C	0.452 kJ/mol	3407°C

Vanadio(è stato scoperto da Nils Sefström). Metallo leggero, duttile, di colore argenteo, molto resistente alla corrosione acida e basica.

Si ottiene per estrazione da minerali quali la carnotite $[K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O]$ e la vanadinite $[Pb_5(VO_4)_3Cl]$. Usato in molte leghe per la sua elevata resistenza agli acidi. Il pentossido (V_2O_5) è usato come catalizzatore.

CAP. VIII TRATTAMENTO RAEE

8.1 Cosa dice il Decreto Ronchi

Innanzitutto, senza preamboli, vediamo come detta le regole, dal 1997, il Decreto Ronchi:
ecco lo schema delle fasi di recupero dei beni durevoli, secondo il Decreto Ministeriale n. 22 del 5/2/1997.

Tabella 8-1 Schema delle fasi di recupero dei beni durevoli, secondo il Decreto Ministeriale n. 22 del 5/2/1997

Fasi	Procedure	Controlli
1 Analisi del rifiuto La prima analisi deve determinare se il rifiuto generato può essere riutilizzato o avviato al recupero	• Definizione del rifiuto generato individuando il codice dal Catalogo Europeo Rifiuti • Registrazione o carico del rifiuto sugli appositi libri e/o formulari • Stoccaggio interno provvisorio in una apposita area aziendale • Individuazione delle aziende di raccolta autorizzate	• Controllo delle autorizzazioni rilasciate dagli Enti preposti dalla Pubblica Amministrazione alle aziende individuate per la raccolta
2 Raccolta e conferimento La raccolta deve essere eseguita da società munite di autorizzazioni ed addestrate alle attività da svolgere	• Analisi del tipo di materiale nonché delle quantità da parte del trasportatore autorizzato • Compilazione del documento di trasporto o formulario • Stoccaggio temporaneo da parte del trasportatore in attesa dell'avviamento alla piattaforma	• Controllo delle autorizzazioni obbligatoriamente correlate al tipo di materiale da trasportare • Controllo dei veicoli del trasportatore muniti delle adeguate autorizzazioni e attrezzati secondo norma • Controllo del personale del trasportatore

	ecologica	formalmente autorizzato al particolare trasporto
3 Stoccaggio e trattamento Il rifiuto deve essere tenuto in magazzini autorizzati e attrezzati per essere poi suddiviso in sottoassiemi	• Stoccaggio delle apparecchiature in arrivo dai trasportatori • Cernita: selezione delle apparecchiature destinate al riutilizzo o al recupero • Trattamento: smontaggio e suddivisione dei sottoassiemi in riutilizzabili o destinati al recupero • Stoccaggio dei sottoassiemi secondo la tipologia del materiale • Avvio dei materiali da recuperare alle piattaforme ecologiche specializzate ed autorizzate	• Qualificazione dell'addestramento del personale tecnico alle varie attività di trattamento • Conformità degli impianti di trattamento alle norme tecniche • Vidimazione dei formulari di trasporto da parte del ricevente • Regolarità delle attività di stoccaggio e suddivisione dei sottoassiemi
4 Recupero Le piattaforme ecologiche provvedono alla destinazione finale dei materiali trattati	• Recupero dei materiali per cicli produttivi e con valore commerciale • Recupero dei materiali per generazione di energia • messa in sicurezza dei materiali non recuperabili	• Idoneità e completezza della documentazione relativa all'attività di recupero e messa in sicurezza • Corretto reinserimento del materiale recuperato in base alla destinazione di recupero definita

8.2 Correttezza del rifiuto

Inoltre si ricorda che, per rendere un rifiuto corretto, c'è bisogno anche di *garanzie* sulla correttezza delle attività:

- ✓ Aggiornamento legislativo Nazionale ed Internazionale
- ✓ Rappresentanza presso gli Enti della Pubblica Amministrazione preposti al settore
- ✓ Visite di controllo periodiche e qualificazione delle aziende autorizzate
- ✓ Interventi di informazione, formazione e qualificazione del personale
- ✓ Sorveglianza normativa sulle attrezzature e dotazioni, nonché amministrativa sulle autorizzazioni ed omologazioni
- ✓ Comitati tecnici di verifica
- ✓ Interfacciamento con Organismi tecnici accreditati per il controllo del settore
- ✓ Bollettini tecnici di aggiornamento sulle modalità di trattamento e sul livello di addestramento richiesto al personale
- ✓ Visite periodiche di sorveglianza sulla conformità degli impianti, delle dotazioni e delle attrezzature
- ✓ Certificazione sulla qualità delle attività espletate
- ✓ Sportello esplicativo per assistenza su quesiti e per consulenza su problematiche particolari

Sempre sulla stessa linea si deve ricordare che, dal punto di vista tecnico, le indicazioni fondamentali per la realizzazione e gestione di un impianto di recupero sono contenute nelle "Linee guida ANPA (Neo-APAT)", di cui si è parlato nel capitolo sulla Legislazione. Esistono, inoltre, una serie di Leggi/Direttive/decisioni/regolamenti comunitari cui fare riferimento.

In secondo luogo, osserviamo, prima di parlare dettagliatamente di come e dove vengano trattati i RAEE, ciò che oggigiorno succede in Italia *in generale*.

8.3 Opzioni di smaltimento

Le opzioni per lo smaltimento dei beni durevoli dimessi si articolano in:

- messa a discarica
- incenerimento
- riciclaggio

8.3.1 Messa a discarica

Attualmente, **la maggior parte dei beni durevoli dismessi viene smaltito mediante il ricovero in discarica**. E' questa l'alternativa che permette la minore assunzione di responsabilità: riciclare o incenerire tali rifiuti significa infatti addentrarsi in complicate valutazioni in termini di costo-beneficio, sollevando conflitti di interessi e contrasti che la messa a discarica consente di evitare. A differenza di altri rifiuti, inerti, che vengono abitualmente smaltiti in discarica, **i beni durevoli dismessi** ivi ricoverati **comportano seri rischi per l'ambiente**. Come in precedenza rilevato, infatti, tali beni contengono una varietà di sostanze e materiali nocivi. Si possono evitare impatti significativi depositando tali rifiuti in discariche controllate conformi a rigorose norme tecniche di protezione dell'ambiente. Tuttavia, poiché **nessuna discarica è completamente impermeabile nell'arco della sua esistenza**, non si può escludere una certa lisciviazione di metalli e sostanze chimiche (lisciviazione si ha quando il rifiuto in discarica si logora o si danneggia per effetto dell'erosione operata da agenti chimico-fisici, lasciando fuoriuscire le sostanze di cui è composto, mettendole quindi a contatto con l'ambiente esterno).
Per esempio, la lisciviazione del mercurio avviene quando alcuni dispositivi elettronici, come gli interruttori, sono distrutti. Lo stesso vale per i PCB contenuti nei condensatori. Nel caso della messa a discarica di plastica contenente ritardanti di fiamma bromurati, oppure cadmio, questi possono penetrare nel terreno e nelle acque sotterranee. E' stato constatato che notevoli quantità di ioni del piombo provenienti da frammenti di vetro, come il cono di vetro dei tubi a raggi catodici, sono dissolti dalle acque sotterranee acide (il cosiddetto "percolato") spesso presenti nelle discariche.
E' ovvio che l'impatto ambientale è nettamente superiore quando i BDD sono posti in discariche incontrollate, cosa che avviene ancora in misura prevalente in alcuni stati membri e nella maggior parte dei paesi candidati all'adesione all'Unione europea.
La raccolta e il trattamento del percolato in strutture controllate secondo norme rispettose dell'ambiente non elimina il problema, ma aiuta. Nelle discariche più all'avanguardia, è prevista l'impermeabilizzazione del fondo e la raccolta del percolato, che in questi casi è destinato a trattamento sul posto o all'invio verso impianti di gestione delle acque reflue. Così facendo, nella peggiore delle ipotesi, i metalli pesanti si concentrano, in quantità ridotte, nei fanghi di depurazione. Questi ultimi possono essere sparsi su terreni agricoli, se rispettano determinati valori limite, oppure posti a loro volta in discarica o inceneriti. Il processo appena descritto, più tollerante del rispetto ambientale, è però ancora lontano dal poter essere applicato nella prassi a tutti i siti adibiti a discarica; non è infatti pensabile che, a breve e medio termine, i siti non controllati e non a norma siano sostituiti con strutture operanti secondo criteri adeguati di sicurezza. In alcuni paesi, addirittura, la realtà è scoraggiante *"...in Grecia, su un totale di 5000 discariche, il 70% non è controllato.*" (Conferenza per la Pianificazione della Gestione dei Rifiuti, Grecia, Gennaio 1997). In questi casi, il percolato contaminato può quindi intaccare le falde sotterranee fino a che l'uso dell'acqua per il consumo umano diventa impossibile rispettando i limiti stabiliti dalla direttiva 80/778/CEE del 15 Luglio 1980.

8.3.2 Incenerimento

Anche questa soluzione è utilizzata, purtroppo, per smaltire i beni durevoli dismessi. La procedura consiste nella loro *combustione all'interno di inceneritori o termovalorizzatori* ***(questi ultimi sono impianti che sfruttano il calore sviluppato allo scopo di produrre energia termica e/o elettrica).***
Mentre **l'incenerimento** è un'alternativa valida, e in certi casi economicamente efficiente, per parte dei rifiuti**, non sarebbe assolutamente proponibile per i BDD**.
Il termine condizionale sottolinea come, invece, ancora oggi sia diffusa questa cattiva abitudine. A questo proposito

"***Si calcola che le emissioni dall'incenerimento di rifiuti nell'Unione Europea comportino ogni anno la diffusione nell'ambiente di 36 tonnellate di mercurio e 16 di cadmio. Inoltre, il piombo contenuto nei BDD rappresenta circa il 50% di quello immesso in totale negli inceneritori. Dopo l'incenerimento di un apparecchio, il 64% del piombo rimane nelle ceneri, il 35% nei residui e l'1% nell'aria***". (Commissione delle Comunità Europee, Proposta di Direttiva sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche, Bruxelles, giugno 2001)
Il flusso di questi prodotti dismessi contribuisce notevolmente alla presenza di metalli pesanti e sostanze alogenate nei flussi di rifiuti urbani. A causa della varietà di sostanze presenti nei BDD, durante il loro incenerimento possono prodursi diversi effetti negativi. Per esempio, la distruzione dei ritardanti di fiamma bromurati (PBB e PBDE) a bassa temperatura (600-800°C) può comportare la **generazione di diossine e furani**, estremamente tossici. Anche riguardo al PVC, sembra provata la sua non idoneità all'incenerimento. Il 7 Ottobre 1998, la Commissione Europea ha adottato una proposta di direttiva sull'incenerimento dei rifiuti - COM (1998) 558 def. -. La proposta prevede valori limite di emissione rigorosi che dovrebbero portare ad una significativa riduzione delle emissioni nell'atmosfera di vari inquinanti. Questo rappresenta un esempio di tecnologia che interviene alla fine del processo (end of pipe), che non può però essere considerata come l'unico metodo per evitare le emissioni provenienti dalla combustione di rifiuti.
La raccolta separata e il trattamento dei flussi di rifiuti, quali i BDD, contribuiscono a generare una gestione degli stessi più rispettosa degli equilibri ambientali. Questo aspetto è particolarmente importante quando non sono rispettate, o applicabili, norme rigorose in materia di emissione come riportato in precedenza. Inoltre, supponendo anche la presenza di inceneritori dai valori di emissione soddisfacenti, va precisato che le sostanze non disperdibili nell'atmosfera finiscono inevitabilmente per ristagnare nelle ceneri. Così facendo, queste ultime vengono catalogate come scorie pericolose, che devono quindi esser ulteriormente vagliate e poste in discariche controllate a massima sicurezza. In nessun caso le ceneri contaminate possono trovare altra destinazione se non la discarica .
Ben diversa è l'**esperienza dei Paesi Bassi**, che hanno adottato una normativa ambientale sull'incenerimento fatta di severi requisiti in termini di presenza nelle ceneri di metalli pesanti; questo pur mantenendo controllate le emissioni di sostanze nell'aria. Ciò è possibile grazie ad un'attenta selezione e qualificazione dei rifiuti destinati alla combustione. Il risultato è molto interessante: **tutte le ceneri** (circa 600 mila tonnellate nel 1995) **provenienti dalla distruzione termica dei rifiuti sono usate come materiale di riempimento per la costruzione stradale e per l'edilizia in genere**. Ecco dimostrato come un'attenta selezione a monte del processo di

incenerimento permetta, a valle, la creazione di un vasto (e fiorente) mercato delle scorie da combustione, che tuttavia è ancora assente in diversi paesi europei. Quindi, se per ipotesi (peraltro auspicabile) tutti i BDD fossero raccolti separatamente dai rifiuti urbani indifferenziati, l'incenerimento di questi ultimi produrrebbe ceneri con contenuto di metalli pesanti così basso da poter essere utilizzate per molte finalità, oltretutto remunerative.
A parte le emissioni nell'atmosfera di sostanze pericolose e la loro presenza nelle ceneri, la combustione di beni durevoli comporta un altro problema: l'*output energetico negativo****, a cui si assiste bruciando alcune apparecchiature. Come già accennato, questo fatto si verifica quando un prodotto, per essere distrutto con fiamma, assorbe più energia di quanta la sua combustione rilasci. Test pilota condotti nel nord Europa hanno dimostrato che la perdita di energia derivante dall'immissione di vetro (come i tubi a raggi catodici) in un inceneritore sia quantificabile in* –400 kJ/kg.**

8.3.3 Riciclaggio

Va subito chiarito che questa alternativa per gestire il problema beni durevoli dismessi è, al tempo stesso, la più corretta e la meno praticata fra le tre soluzioni considerate. Infatti, "Solo il 13,48% dei beni durevoli dismessi viene recuperato e smaltito separatamente dagli altri rifiuti. Nel 1999 sono stati dismessi beni durevoli per 182.400 tonnellate circa, delle quali solo 24.600 sono state raccolte in modo separato e solo 17.000 trattate nelle piattaforme specializzate"[95]**.**
Un adeguato riciclaggio di queste apparecchiature consente, come già ampiamente illustrato, di proteggere l'ambiente e fornire all'industria materie prime "seconde" da impiegare in altri processi produttivi. Riciclare i BDD, o comunque recuperarli dallo smaltimento indifferenziato, permette inoltre di risparmiare spazio nelle discariche, divenute anch'esse un problema "scomodo" nelle moderne società.
Il perché sia difficile infondere una cultura del riciclaggio per rifiuti così complessi è presto spiegato: sono molti i soggetti da coinvolgere e questi portano interessi divergenti. La situazione si presenta qui più complicata rispetto ad altre categorie di rifiuti (vetro, carta, plastica), per riciclare i quali si verificano meno problemi. L'intervento legislativo si rende, come al solito, obbligatorio (succede sempre quando si tratta di risolvere problematiche ambientali, che quasi mai trovano soluzioni autonome su iniziativa dei privati). Tuttavia, è difficile per un legislatore produrre una normativa che consenta di gestire il problema dei BDD senza ledere gli interessi di imprese e consumatori. Ecco il motivo per cui *le iniziative per il recupero e il riciclo di questi rifiuti hanno sempre avuto carattere sperimentale e locale*; scarsi sono stati, fino ad epoca recentissima, i tentativi di dare alla materia la rilevanza internazionale che questa richiede.

---

[95] dati relativi all'Italia, tratti da ANPA/ONR, Rapporto Rifiuti 2001.

8.4 Indicazioni fondamentali per la realizzazione e gestione di un impianto di beni durevoli dismessi

Dunque, basandosi su una ricerca fatta dalla RifiutLab di Bologna ma che opera in tutta l'Emilia Romagna[96], la produzione media annuale (come numero di pezzi) di beni durevoli per un bacino di 100.000/140.000 abitanti è:

- 3.000 frigoriferi
- 3.000 televisori
- 5.000 altri beni durevoli
-

e rappresenta un bacino minimo di riferimento, quindi, facendo un calcolo generale ed anche abbastanza approssimato, considerando che in Italia risiedono ≅ 60.000.000 di persone, ogni anno si dismettono 1.500.000 – 1.800.000 frigoriferi, 1.500.000 – 1.800.000 televisori, 2.700.000 – 3.000.000 di altri beni durevoli.

Le principali fasi di lavorazione di un impianto di recupero di beni durevoli sono:

1. Eliminazione CFC/sostanze pericolose
2. Eliminazione compressore/motore/zavorra
3. Asportazione olio/lampade/trasformatori
4. Eliminazione parti smontabili
5. Macinazione carcasse e recupero dei metalli ferrosi, dei metalli non ferrosi (rame e alluminio) e materie plastiche
6. Triturazione più fine del poliuretano
7. Recupero dei CFC e affini dal poliuretano
8. Recupero del poliuretano bonificato

"Tabulando":

Tabella 8-2 Principali fasi di lavorazione di un impianto di recupero di beni durevoli

FRIGORIFERI CONGELATORI SURGELATORI	**CONDIZIONATORI**	**TELEVISORI MONITOR**	**COMPUTER**	**LAVATRICI LAVASTOVIGLIE**
Operazioni di smontaggio, separazione e messa in sicurezza	**Operazioni di smontaggio, separazione e messa in sicurezza**	**Operazioni di smontaggio, separazione e messa in sicurezza**	**Operazioni di smontaggio, separazione e messa in sicurezza**	**Operazioni di smontaggio, separazione e messa in sicurezza**
• Estrazione dei gas	• Estrazione dei gas refrigeranti	• Rimozione carcassa	• Rimozione tubo catodico	• Separazione parti mobili

[96] Ci si baserà, in questo paragrafo, su di una ricerca a cura dell'Ingegner Alex Barboni, della RifiutLab, 2002.

presenti nel circuito refrigerante (CFC e affini) • Recupero serpentine di scambio termico • Estrazione degli oli dal compressore • Recupero compressore • Recupero di cavi, parti in PVC, parti elettriche • Recupero condensatori con o senza PCB • Recupero ventilatori • Recupero di eventuali interruttori a mercurio	(CFC e affini) • Recupero serpentine di scambio termico • Estrazione e degasaggio degli oli dal compressore • Recupero compressore • Recupero di cavi, parti in PVC, parti elettriche • Recupero condensatori con o senza PCB • Recupero ventilatori • Recupero di eventuali interruttori a mercurio	• Rimozione tubo catodico (ed eventuale aspirazione di polveri e vernici dal vetro in ambiente controllato) • Rimozione schede • Rimozione condensatori con o senza PCB • Rimozione pile e batterie • Rimozione cavetterie • Rimozione parti metalliche • Rimozione parti non metalliche • Rimozione parti in legno • Rimozione parti plastiche	• Rimozione schede elettroniche • Rimozione trasformatori e dispositivi elettrici a secco • Rimozione condensatori con o senza PCB • Rimozione cavetterie • Rimozione parti metalliche • Rimozione parti non metalliche • Rimozione parti in plastica • Recupero di eventuali interruttori a mercurio • Recupero lampade • Recupero filtri aria	•Rimozione eventuali condensatori con PCB •Recupero motore •Recupero contrappeso in cemento •Recupero pompe •Recupero parti elettriche •Recupero cestello •Recupero cavi •Recupero parti in PVC
Materiali e sostanze pericolose	**Materiali e sostanze pericolose**	**Materiali e sostanze pericolose**	**Materiali e sostanze pericolose**	**Materiali e sostanze pericolose**
• HCFC • CFC • Oli e lubrificanti contaminati da CFC • Schiume contenenti	• HCFC • CFC • Oli e lubrificanti contaminati da CFC • Schiume contenenti CFC • Interruttori a	• Condensatori con o senza PCB • Polveri luminescenti (fosforo e metalli	• Interruttori a mercurio • Condensatori con o senza PCB • Polveri luminescenti (fosforo e	•Rivestimenti plastici dei cavi elettrici con piombo •Condensatori con PCB

CFC • Interruttori a mercurio • Condensatori con PCB	mercurio • Condensatori con PCB	pesanti) • Polveri e vernici con metalli pesanti • Schede elettroniche • Pile e batterie	metalli pesanti) • Polveri e vernici con metalli pesanti • Schede elettroniche • Pile e batterie	
Materiali riutilizzabili	**Materiali riutilizzabili**	**Materiali riutilizzabili**	**Materiali riutilizzabili**	**Materiali riutilizzabili**
• Compressori • Ventilatori • Oli bonificati	• Compressori • Ventilatori • Oli bonificati	• Schede elettroniche	• Schede elettroniche • Trasformatori e dispositivi elettrici a secco	• Motore • Componenti da piastre • Contrappeso in cemento
Materiali riciclabili	**Materiali riciclabili**	**Materiali riciclabili**	**Materiali riciclabili**	**Materiali riciclabili**
• Compressori • Serpentine di scambio termico • Ventilatori • Rottami ferrosi e lamiere • Alluminio • Rame • Plastica selezionata • PVC da cavi e guarnizioni	• Compressori • Serpentine di scambio termico • Ventilatori • Rottami ferrosi e lamiere • Alluminio • Rame • Plastica selezionata • PVC da cavi e guarnizioni	• Vetro • Metalli ferrosi e non ferrosi • Cavi in rame • Plastica selezionata	• Metalli ferrosi e non ferrosi • Cavi in rame • Plastica selezionata • PVC da cavi	• Motori • Pompe • Contrappeso in cemento • Metalli ferrosi e non ferrosi • Cavi in rame • Plastica selezionata • PVC da cavi
Materiali per recupero di energia	**Materiali per recupero di energia**	**Materiali per recupero di energia**	**Materiali per recupero di energia**	**Materiali per recupero di energia**
• Cartoni pressati • Piastre di copertura • Plastica mista • Poliuretano • Altro	• Cartoni pressati • Piastre di copertura • Plastica mista • Poliuretano • Altro materiale a contenuto	• Materiale a contenuto energetico • Cartoni pressati • Legno	• Schede elettroniche • Guarnizioni • Materiale a contenuto energetico • Plastica mista	• Plastiche e materiali a contenuto energetico • Plastica mista

materiale a contenuto energetico	energetico	truciolare • Plastica mista	• Gomme	
Materiale da smaltire	**Materiale da smaltire**	**Materiale da smaltire**	**Materiale da smaltire**	**Materiale da smaltire**
• CFC e affini • Interruttori a mercurio • Condensatori con o senza PCB	• CFC e affini • Interruttori a mercurio • Condensatori con o senza PCB	• Condensatori con o senza PCB • Polveri luminescenti (fosfori e metalli pesanti) • Plastiche anonime o clorurate • Polveri con vernici con metalli pesanti • Componenti oleose dei condensatori • Batterie e pile	• Condensatori con o senza PCB • Interruttori a mercurio • Polveri luminescenti (fosfori e metalli pesanti) • Plastiche anonime o clorurate • Polveri con vernici con metalli pesanti	• Condensatori con o senza PCB

Parlare di tutti gli impianti di trattamento, divisi per categorie, è pressoché improbabile e per di più poco utile.
Ad esempio, non c'è un impianto di trattamento o un'azienda che tratta solo i telefoni cellulari, come non ce n'è una che tratta solo impianti Hi-Fi o casse acustiche.
Sempre restando sull'esempio di un cellulare, esso verrà sicuramente disassemblato e verranno separate plastiche, vetrino, batteria e schede elettroniche; la stessa cosa verrà fatta per un Hi-Fi, per una telecamera, per un lettore cd o un videoregistratore.
Questo tipo di operazioni ha natura *comune* a molti BDD e questo tipo di apparecchiature si "mescolano" ad altre nei cicli di trattamento delle diverse componenti.
Esistono, invece, degli *elementi di un complesso* diffusi *dappertutto e sempre*, e questo è ciò che ci spinge a procedere in questo modo, in più tipologie di elettrodomestici, come i tubi a raggi catodici o le schede elettroniche.
Per il resto abbiamo una serie di tabelle e linee guida molto più che esaustive dal punto di vista descrittivo e molto più che delucidanti dal punto di vista tecnico, come le Linee Guida Anpa (neo-APAT), le tavole di trattamento del Ronchi o altri schemi, come quello del RifiutLab veramente ben configurati.

In questo capitolo, quindi, *ci occuperemo delle apparecchiature e componenti più interessanti dal punto di vista del riciclaggio, della dannosità verso l'uomo e l'Ambiente e della diffusione:* ***gli apparecchi del freddo, gli schermi a CRT, le schede elettroniche o PWB, le plastiche e le batterie***.
I primi, infatti, hanno diffusione planetaria e sono, o almeno lo sono ancora, i maggiori responsabili del buco dell'ozono e dell'effetto serra; con i secondi ci occupiamo delle apparecchiature di visualizzazione a tubi a raggi catodici, presenti in tutto il mondo in maniera abbondante e regine incontrastate, prima dell'entrata in scena dell'LCD e del plasma, della televisione e dei PC; le terze, anch'esse di diffusione globale, rappresentano il "passaporto dell'Hi-Tech" meglio riconosciuto, essendo presenti in tutte le apparecchiature che posseggono una memoria, una programmabilità, un chip, cioè dai PC alle lavastoviglie, dalla telecamera al videogame, dal notebook alla cucina programmabile. Dal trattamento di queste ultime, talvolta, si ricava una quantità di metalli preziosi maggiore, in percentuale in peso, alle migliori miniere. Per le quarte non c'è bisogno di aggiungere altro al di là del nome: sono la componente che conosciamo di più e da più tempo e che impariamo ad utilizzare, sin da bambini, tutti, dappertutto e sempre.

8.5 Frigoriferi, congelatori e condizionatori

Innanzitutto vediamo come viene condotta l'operazione del trasporto.
L'operazione di **carico** viene condotta manualmente, in quanto è di primaria importanza non danneggiare il circuito refrigerante nel quale è contenuto il C.F.C.. E' per questo che l'operazione di carico eseguita con ragni oppure altre attrezzature simili non è fattibile. Il **trasporto** può essere eseguito con autotreno allestito per la movimentazione di cassoni scarrabili. La raccolta è una fase delicata che richiede una forma di protezione del bene durevole dismesso, durante il trasporto dello stesso fino al punto in cui dovrà essere trattato. La mancata protezione, infatti, può vanificare completamente l'operazione di recupero sia come componente, che può essere danneggiato da manovre non corrette, sia del materiale che può essere perduto strada facendo (ad es. l'olio dei compressori, i CFC dei circuiti).

I frigoriferi vengono **scaricati** e **stoccati** in apposite aree per poi essere **bonificati**.

Il recupero di CFC e affini dall'impianto frigorifero (compressore e serpentine), è ottenuto mediante **un'unità di recupero** che, mantenendo sotto vuoto spinto una serie di tubazioni, munite di speciali pinze perforatrici, aspira il liquido refrigerante e lo recupera in apposite bombole dotate di valvole di sicurezza.

Figura 8-1 Recupero CFC da frigoriferi dismessi[97]

Una volta terminata la fase di recupero dei CFC, il compressore viene **smontato** dal frigorifero e **svuotato** completamente dell' olio in esso contenuto.

Tale olio, quasi sempre, è quindi **conferito** al CONSORZIO NAZIONALE OLII ESAUSTI ed il motore è **riciclato** quale materia prima secondaria.

Figura 8-2 Bidoni di olio refluo dai compressori

Successivamente a questa operazione, il frigorifero **bonificato** dal gas passa alla fase di **smontaggio** delle parti mobili: lampadine, cavi, circuiti, lastre di vetro e quant'altro presente all'interno della carcassa.

Il frigorifero, ridotto quindi alla sola carcassa, viene inviato alla **triturazione**. La **triturazione**, eseguita da più trituratori in cascata, riduce la carcassa del frigorifero in frammenti dalle dimensioni di circa 30*50 mm.

Il materiale, all'uscita dell'ultimo trituratore, viene **deferrizzato** solitamente tramite elettromagneti ed il ferro allontanato con l'ausilio di un nastro magnetico. Tali componenti ferrosi vengono destinati alla fonderia. Il restante materiale, composto da

[97] Immagine tratta dal sito http://www.seval-impianti.it .

alluminio, rame, schiuma di poliuretano e plastica, viene sottoposto a più fasi di **macinazione** in modo tale che le dimensioni dei frammenti

Figura 8-3 Alluminio proveniente dalla triturazione dei vecchi frigoriferi e congelatori

Figura 8-4 Rame recuperato

si riducano ulteriormente e la schiuma di poliuretano ormai polverizzata sprigioni tutto il gas nocivo all'ozono stratosferico. **La sciuma di poliuretano espanso, infatti, contene circa il triplo dei CFC (CFC11, in genere) di quelli contenuti nel circuito frigorifero**. Nella fase di **separazione,** la polvere di poliuretano viene separata dagli altri componenti mediante aspirazione e stoccata in BIG-BAGS. Una speciale apparecchiatura **separa** totalmente i restanti componenti, che vengono integralmente **inviati al riciclo**.

Figura 8-5 Operaio della Seval che controlla la plastica triturata

Figura 8-6 Polvere di poliuretano

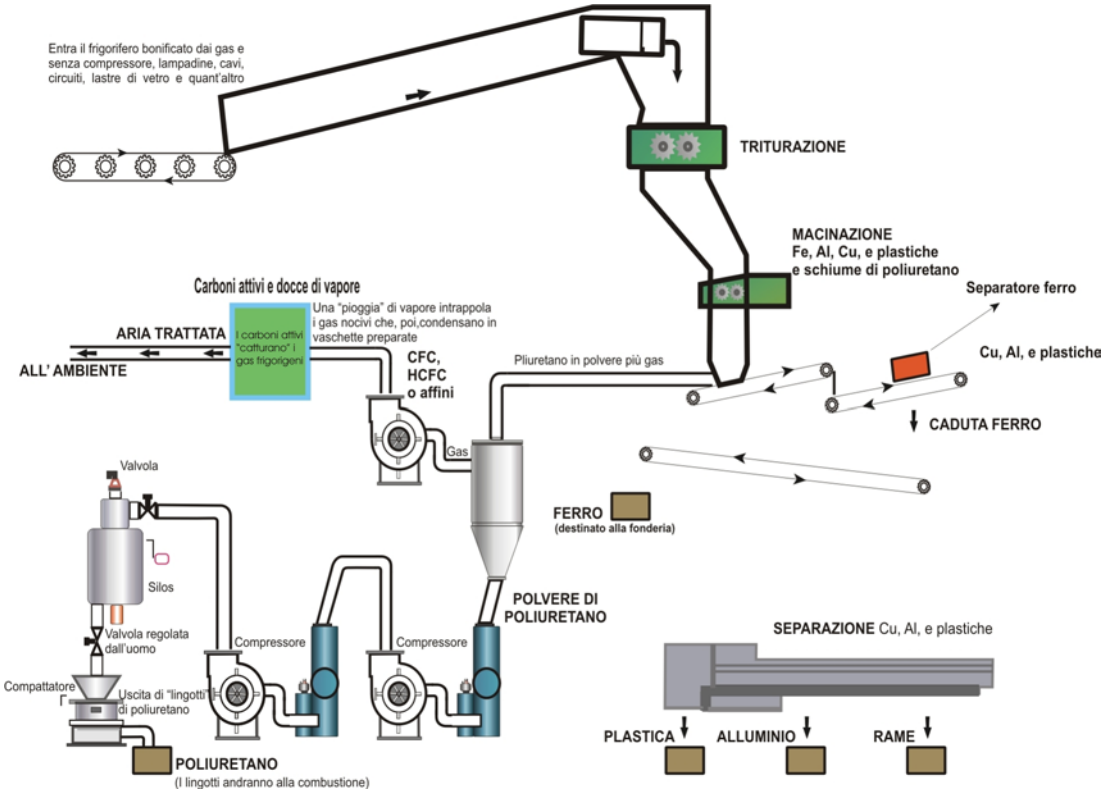


Figura 8-7 Esempio di impianto trattamento carcasse di frigo-congelatori-condizionatori-distributori del freddo[98]

Le fasi operative di stoccaggio, recupero CFC e triturazione vengono eseguite in un **ciclo chiuso**, **ermeticamente isolato** dall'ambiente esterno e mantenuto **in** leggera **depressione** da una serie di aspiratori.

Figura 8-8 Carcassa di frigocongelatore al trattamento

Tale condizione di lavoro riduce al minimo la possibilità che il gas nocivo all'ozono contenuto nelle schiume di poliuretano possa essere liberato in atmosfera. L'aria dell'impianto a ciclo chiuso, satura di gas nocivo all'ozono, viene continuamente depurata mediante uno speciale impianto. Tale impianto provvede alla separazione dell'aria dai gas nocivi facendoli

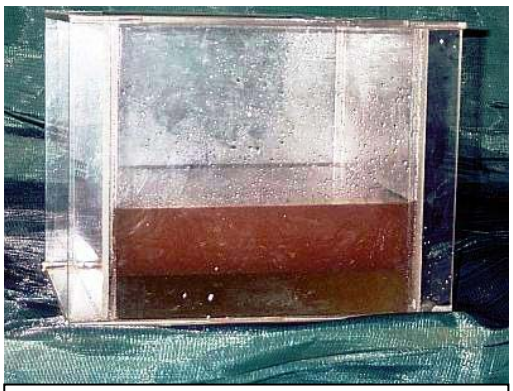


Figura 8-9 Gas nocivi all'ozono stratosferico condensati

[98] Schema impiantistico elaborato dalla Tred Carpi, tratto dal sito http://www.tredcarpi.it , 2003.

intrappolare cataliticamente su carboni attivi e poi condensando quest'ultimi e facendoli precipitare in appositi contenitori. Quest'ultima fase operativa, garantisce un'adeguata protezione ecologica all'ambiente, in quanto le immissioni di gas nocivo in atmosfera sono ridotte al minimo. Successivamente si ha lo smaltimento in discarica della frazione di rifiuto non più tecnicamente separabile e lo smaltimento dei CFC e del poliuretano mediante combustione.

8.5.1 Boz e il sistema SEG

Un altro esempio di impianto ci viene dalla Boz Carta, esclusivista per l'Italia del sistema SEG (SEG Umwelt Service GmbH, 1987, Mettlach, Germania) per il trattamento di frigoriferi dismessi. Si tratta di un sistema che adempie senza riserve alle richieste imposte dalla certificazione RAL "Riciclaggio di frigoriferi/congelatori contenenti freon".

Figura 8-10 Riciclaggio di frigoriferi e congelatori contenenti freon - RAL-marchio di qualità

Si considera che ogni vecchio apparecchio contiene, secondo il tipo e la grandezza, 70-300 g di freon (R12) nel circuito refrigerante e 200-1000 g di freon (R11) nell'isolamento poliuretanico.
Il sistema SEG è costituito da **due moduli** ospitati da altrettanti container scarrabili e capaci di trattare 3.000 frigoriferi al mese.

Figura 8-11 Filosofia del sistema SEG

Il primo modulo effettua un pretrattamento in loco, infatti viene portato nei vari luoghi adibiti alla raccolta una volta che si sia raggiunto un numero sufficiente di pezzi. Tale pretrattamento consiste:

- nell'aspirazione dei CFC mediante una pinza brevettata che garantisce una spillatura senza dispersioni, anche grazie al controllo computerizzato. Il gas, una volta aspirato, viene stoccato in apposite bombole;

Figura 8-12 Estrazione CFC alla Boz

- nel recupero dell'olio del compressore e suo stoccaggio in un contenitore specifico;
- nello smontaggio del compressore svuotato.

A questo punto i frigoriferi sono messi in sicurezza e possono rimanere nel luogo di raccolta senza arrecare pregiudizio all'uomo o all'ambiente.

Il secondo modulo, una volta raggiunto un numero di pezzi (ordine di grandezza del migliaio) da trattare tale da consentire delle economie di scala, si porta nel luogo di raccolta e provvede a triturare le carcasse precedentemente preparate dal primo modulo. Durante questa fase vengono

Figura 8-13 Unicità del sistema SEG: pretrattamento in loco

anche automaticamente separate le singole tipologie di materiali:

- plastiche;
- metalli ferrosi (90% acciaio);
- metalli non ferrosi, successivamente distinti nelle singole tipologie;
- poliuretano, esente da CFC che, liberatisi durante la triturazione, sono stati recuperati da un apposito sistema di aspirazione. Il poliuretano stesso viene utilizzato, sottoforma di granulato, come assorbente per olii.

Quindi, si può affermare che l'80-90% di un frigorifero viene recuperato, mentre solo il restante 10% viene avviato allo smaltimento, in particolare i CFC vengono distrutti attraverso la scissione delle loro componenti base.

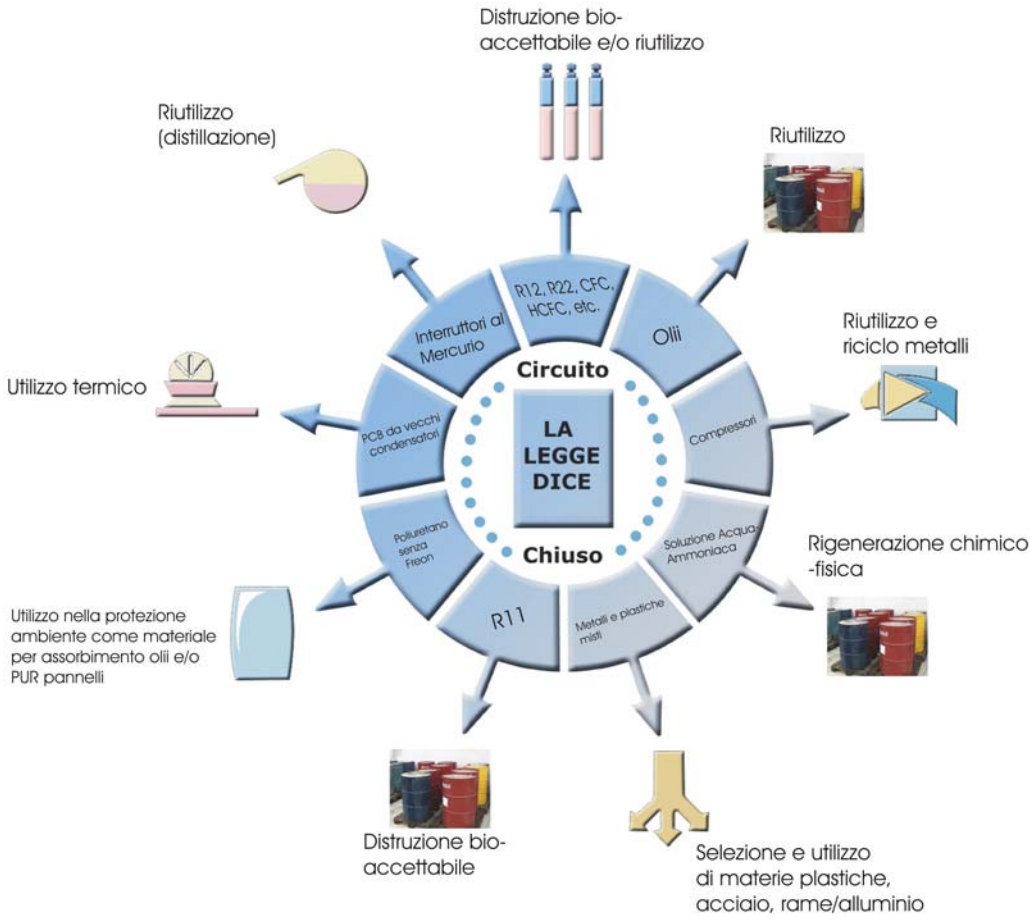


Figura 8-14 Schema gestionale di trattamento frigoriferi e congelatori alla Boz

Il sistema SEG si divide in 3 grandi flussi.

I:

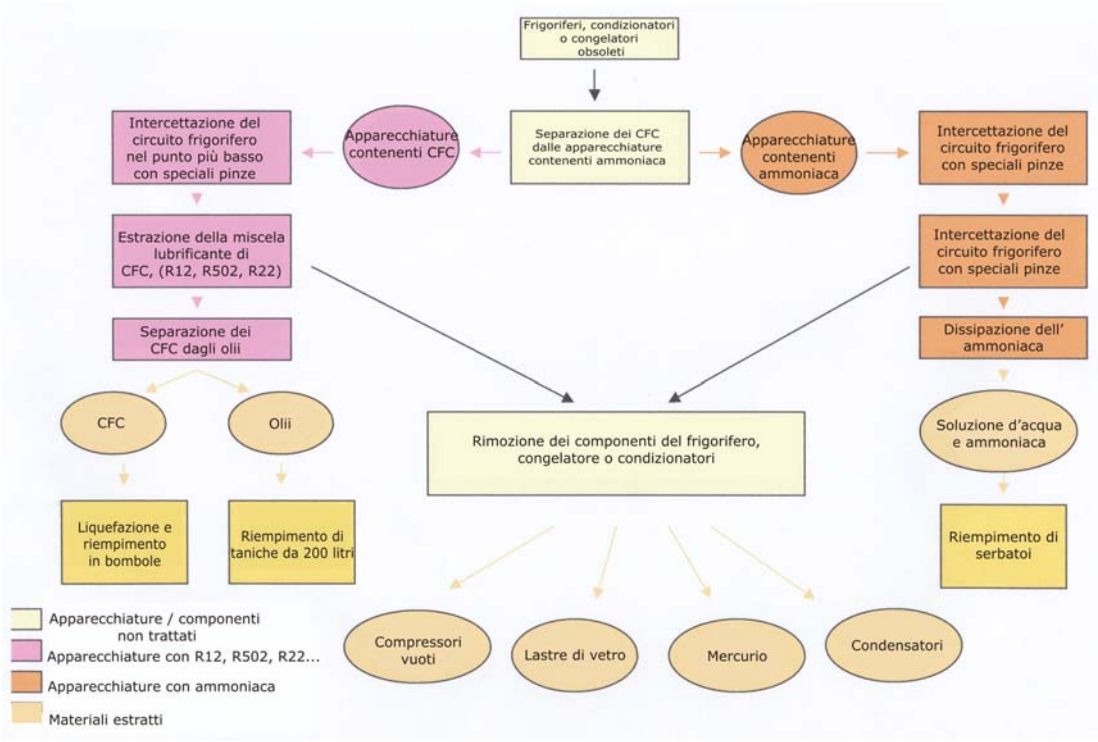

Frigoriferi, condizionatori o congelatori obsoleti
Intercettazione del circuito frigorifero nel punto più basso con speciali pinze
Apparecchiature contenenti CFC
Separazione dei CFC dalle apparecchiature contenenti ammoniaca
Apparecchiature contenenti ammoniaca
Intercettazione del circuito frigorifero con speciali pinze
Estrazione della miscela lubrificante di CFC, (R12, R502, R22)
Intercettazione del circuito frigorifero con speciali pinze
Separazione dei CFC dagli olii
Dissipazione dell' ammoniaca
CFC
Olii
Rimozione dei componenti del frigorifero, congelatore o condizionatori
Soluzione d'acqua e ammoniaca
Liquefazione e riempimento in bombole
Riempimento di taniche da 200 litri
Riempimento di serbatoi
Apparecchiature / componenti non trattati
Apparecchiature con R12, R502, R22...
Apparecchiature con ammoniaca
Materiali estratti
Compressori vuoti
Lastre di vetro
Mercurio
Condensatori

Diagramma 8-1 Primo stadio SEG: pretrattamento apparecchiature del freddo

II:

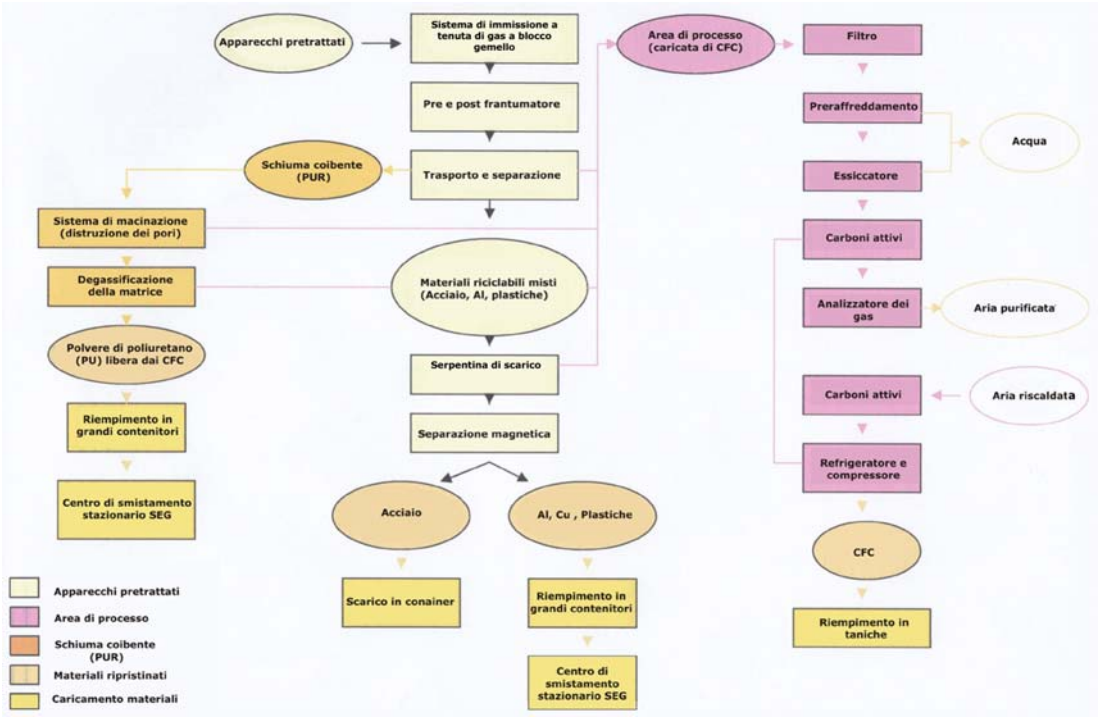


Diagramma 8-2 II stadio SEG: trattamento finale apparecchiature del freddo

III:

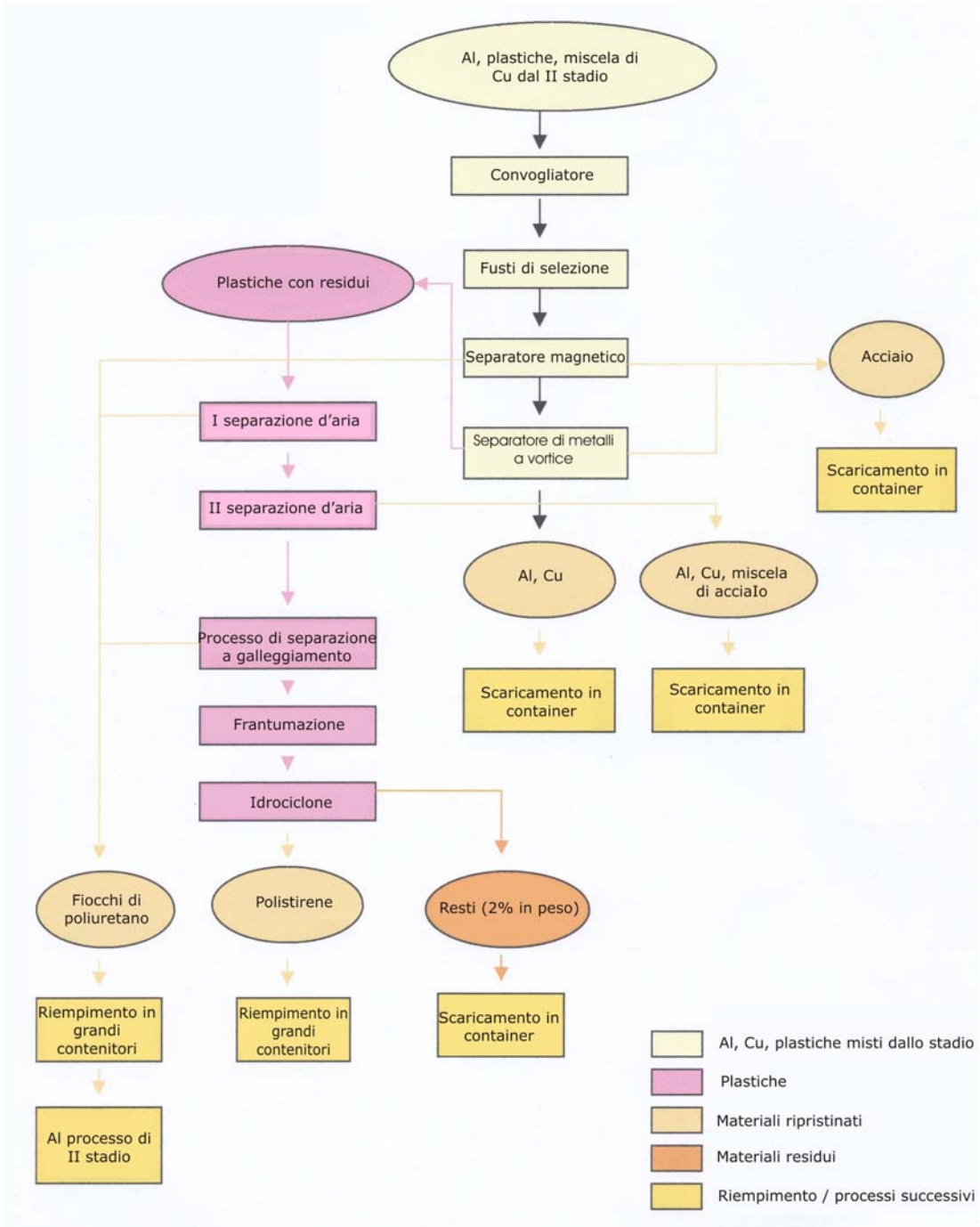


Diagramma 8-3 Terzo stadio SEG: separazione componenti delle apparecchiature del freddo

8.6 Tubi a raggi catodici

Di tutti i materiali usati nell'elettronica[99], oggigiorno, i tubi a raggi catodici hanno incontrato il minor successo nel riciclaggio. Sul mercato degli scarti elettrici ed elettronici, i CRT sono tra i pochissimi materiali che portano con sé uno svantaggio, un peso finanziario[100]. In un mercato on-line dell'usato, i CRT sono stati recentemente scambiati a -70$/t[101].
Ci sono da fissare alcuni concetti, per prima cosa ci sono delle difficoltà di trasporto:

- all'interno dei CRT c'è il vuoto e possono implodere se non maneggiati con grande attenzione;
- la grande probabilità di rompere il vetro richiede speciali precauzioni per prevenire danni;
- dato il contenuto di piombo nei vetri del CRT e la tossicità dei rivestimenti in fosforo luminescente, i CRT sono classificati, in alcuni paesi, come rifiuti pericolosi e creano delle difficoltà nel trasporto e nei trattamenti.

Secondariamente, i CRT sono difficili da riusare o ripristinare. Il vuoto dentro al tubo, il rivestimento luminescente ed il cannone elettronico si deteriorano *tutti* con l'uso. Sarebbe possibile ricostituire il collo, che vuol dire rimpiazzare il collo ed il cannone elettronico, rinnovare il vuoto e risigillare il tubo[102]. Sebbene questo servizio sia commercialmente disponibile[103], è solo attraente per i CRT ad altissimo valore come quelli dell'equipaggiamento medico e radar.
La terza risma di problemi è costituita dal come disporre i materiali usati nei CRT.

Vediamo la figura 8-15.

[99] Wim Bruens, Philips, *Recycling a TV set will always be unprofitable*, 2003.

[100] MANN, R.D.*: The Economics of Equipment Recyclin'*, CONCEPT - Conference on Clean Electronic Products and Technology, 1995, IEE Conference Publication No 415, pp.151-156.

[101] Recycler's World Online Market Prices' (anonymous), pubbicato da RecycleNet, P.O. Box 24017, Guelph, Ontario, N1E 6V8 Canada http://www.recycle.net/cgi-bin/recycle , 2003.

[102] SMITH, D., SMALL, M., DODDS, R., AMIGAI, S., STRONG, T.: *Computer monitor recycling: a case study*, IEE Engineering Science & Education Journal, 1996, Vol.5, No.4, pp.159-164.

[103] `Cathode Ray Tube (CRT/Picture Tube) Remanufacturing', Quest International, Inc. , 65 Parker, Irvine, California 92718, USA.

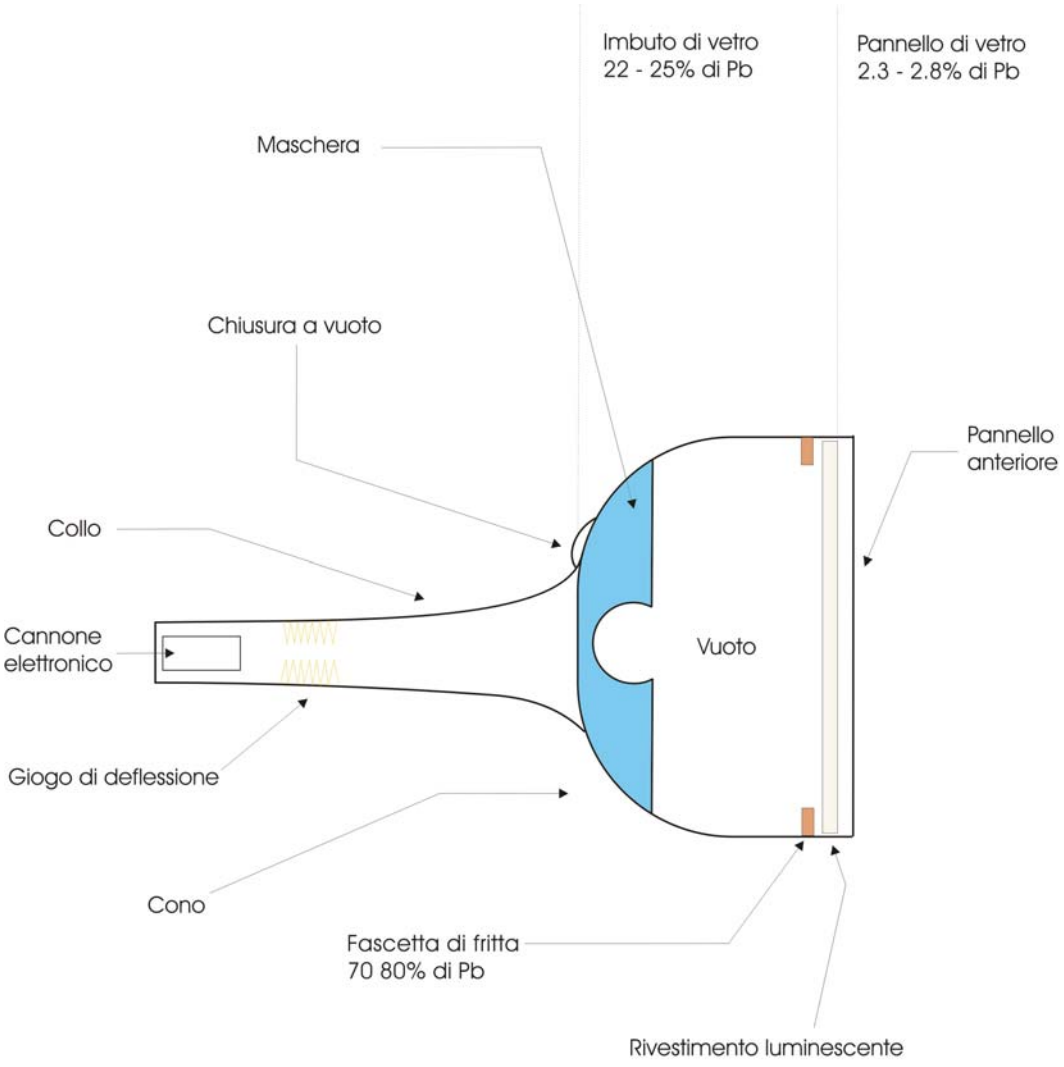


Figura 8-15 Schematizzazione di un CRT

Vediamo la tavola seguente.

Tabella 8-3 Materiali usati nei CRT[104,105,106]

Pannello	Bario che supporta il vetro
Cono, collo	Piombo che supporta il vetro
Rivestimento	Composti di Fosforo
Fritta (legante per il vetro)	Pb, Zn, B, Ba, ossidi di Si
Giogo	Rame + altri materiali nel nucleo

104 CLEGG, A.J. and WILLIAMS, D.J.: The Strategic Implications of Recycling and Design for Disassembly in the Electronics Industry, Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 1994, pp.6-12.

105 FOX, B., Green TV laws store up mountain of trouble, New Scientist, 4 September 1993, p.20.

106 Frit Facts, pubblicato da Techneglas, 707 East Jenkins Ave, Columbus, Ohio 43207, USA.

La sola parte facilmente riciclabile dei CRT è il Rame del giogo di deflessione, che può essere facilmente rimosso e mandato alle raffinerie di Rame. Il rivestimento di Fosforo può essere lavato via dal pannello, ma non sono stati riportati esempi di riutilizzo di questo materiale. Il più importante materiale, il vetro, è, in generale, ben riciclabile. Le bottiglie di vetro sono uno dei materiali più comunemente riciclati e sono usate nella produzione di nuove bottiglie ed oggetti vari in vetro[107].

In ogni caso, i metalli pesanti contenuti nei vetri dei CRT li rendono inadatti per queste applicazioni. Un riciclaggio completo dei CRT è complicato dall'utilizzo di 2 diversi tipi di vetro contenenti, rispettivamente, Piombo e Bario. L'aggiunta di questi metalli pesanti serve a proteggere chi guarda dalle radiazioni ed a rendere più resistente la struttura. Il Piombo è usato nel cono per il suo basso costo, ma nel pannello questo deve essere rimpiazzato dal più caro Bario giacché il vetro di piombo ha un colore marrone. Di conseguenza i pannelli non possono essere fatti con la miscela di vetri di Piombo e Bario ottenuta quando si triturano i CRT. Sebbene i coni e i colli non abbiano bisogno di essere non colorati, solo una modesta quantità di vetri misti dei CRT può essere usata nella loro produzione, dato che la mistura di Piombo e Bario dà vetro con resistenza meccanica inferiore[108]. Così un "riciclaggio chiuso" del vetro dei CRT dipende dalla effettiva separazione dei 2 tipi di vetro. E questo è molto difficile dato che la fritta che congiunge il pannello e il cono crea un legame veramente forte. Se i tubi sono triturati, le proprietà simili dei vetri di Piombo e Bario rendono molto difficile separare i 2 utilizzando le attuali tecniche di classificazione dei materiali. Comunque, il riutilizzo dei residui raffinati di vetro da parte di un produttore di CRT suggerisce che il "riciclaggio chiuso" sia fattibile laddove ci sia solo 1 tipo di vetro.

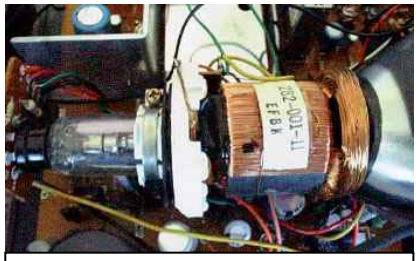


Figura 8-16 Particolare del giogo di deflessione di un CRT

E' possibile usare il vetro dei CRT in applicazioni in cui il suo contenuto di metalli pesanti sia un vantaggio, per esempio nei contenitori di rifiuti nucleari[109] o in alcune strumentazioni di laboratorio[110]. Questi possono assorbire un piccolo volume del vetro di CRT. E' stato anche detto che i fonditori di Piombo possano accettare interi CRT per ricoverare il loro contenuto di metalli[111]. Questo potrebbe preparare un buon flusso di riciclaggio, ma non sono stati riportati esempi concreti così positivi.

---

[107] Mitsui & Co. Ltd., 2-1,Ohtemachi 1-Chome Chiyoda-Ku, Crystal Clay, Tokyo, Japan, 2003.

108 FOX, B.: Green TV laws store up mountain of trouble, New Scientist, 4 September 1993, p.20

109 BIDDLE, M.B. and MANN, R., Recipe for Recycling, IEEE Spectrum, 1994, Vol.31, No.8, pp.22-24.

110 PORADA, T., Materials Recovery: Asset Alchemy, Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 1994, pp.171-173.

111 SMITH, D., SMALL, M., DODDS, R., AMIGAI, S., STRONG, T., Computer monitor recycling: a case study, IEE Engineering Science & Education Journal, 1996, Vol.5, No.4, pp.159-164.

Anche in questo caso la raccolta ed il trasporto richiedono qualche forma di protezione del bene durevole dismesso, durante il trasporto dello stesso fino al punto in cui dovrà essere trattato. Una mancata protezione, infatti, può vanificare le operazioni successive sia dei componenti sia dei materiali (ad es. le polveri dai tubi a raggi catodici).

Una fase di **carico** consiste in

- ricezione e stoccaggio esterno dei monitor e scarico degli stessi, che avviene manualmente o con apposito carrello meccanico.
- pulizia interna da rifiuti
- stazionamento dei pezzi nell'area interna del magazzino per il successivo trattamento.

Segue una fase di **trattamento preliminare**, una lavorazione che prepara l'apparecchiatura allo svolgimento sicuro delle successive fasi di lavorazione. La fase di **disassemblaggio** richiede una procedurizzazione al fine di garantire la recuperabilità dei componenti potenzialmente validi da un punto di vista tecnico economico. Essa richiede un maggior apporto di lavoro manuale rispetto alle altre fasi:

- posizionamento su apposita rulliera;
- smontaggio delle parti mobili: plastiche, cavi, circuiti, legno, trasformatori, e quant'altro presente all'interno della carcassa;
- rimozione delle schede dei circuiti stampati, di tutti i condensatori elettrolitici superiori ai tre centimetri, di tutte le bobine e trasformatori contenenti rame o altri metalli;
- rimozione del giogo di deflessione in Rame, che costituisce la parte più riciclabile, riutilizzabile e preziosa di tutto il sistema monitor;
- preparazione del tubo catodico per la successiva bonifica;

Una fase caratterizzata da un maggior impiego di energia e di soluzioni automatizzate ad alto contenuto tecnologico è quella che va dalla

- **aspirazione delle polveri** dai tubi catodici che sono stati preventivamente trattati dall'impianto automatizzato
- **recupero del vetro e delle parti ferrose** interne,

alla

- introduzione delle carcasse metalliche e delle parti in plastica negli impianti di trattamento dove vengono **triturate e separate le varie parti**, ferrose e non e plastiche.

Si procederà poi al

- **recupero** dei vari tipi di metallo triturati, separati in appositi contenitori dagli impianti di trattamento e al

- recupero della plastica triturata.

I materiali non recuperabili o non più tecnicamente separabili, infine, saranno mandati allo smaltimento in discarica ma, negli impianti migliori dal punto di vista tecnico ed ecologico, si arriva, oggigiorno, ad una percentuale di effettivo recupero del **90-95%**, a seconda del tipo di impianto.

La Vallone, con sede nel Viterbese, ci fornisce, uno schema impiantistico molto "illuminante"; di questo le si è grati.

Ecco lo schema.

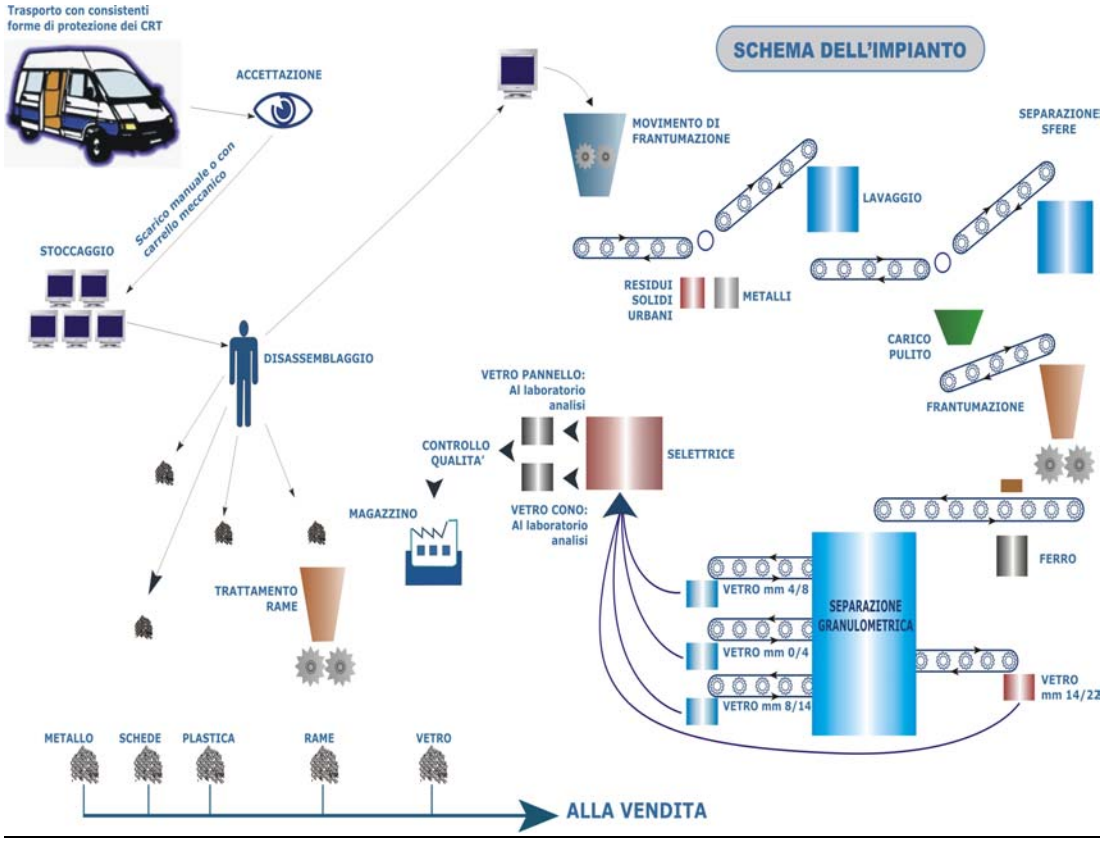


Figura 8-17 Schema impiantistico del trattamento CRT della Vallone

8.7 Schede a circuiti stampati – PWB

Molti prodotti hi-tech sono fatti con metalli preziosi per assicurare la connettività.

Le schede a circuiti stampati tendono ad avere una quantità consistente (pensiamo che alcune miniere danno l'8 per milione di metallo in peso e che la "densità" di

metalli preziosi nelle PWB, spesso, è maggiore) di oro, argento, platino, palladio, nickel e rame nei loro componenti. Si calcola, secondo stime della Chimet, che in ogni tonnellata di schede si possa trovare una quantità di oro (a 24 carati) che oscilla tra i 200g e i 6 Kg. Si è pensato, quindi, di provvedere alla rifinitura di queste componenti al fine di estrarre questi e altri metalli.
Molti privati e aziende mittenti, che portano rifiuti elettronici agli impianti, non sono in grado di incontrare le richieste di peso minimo per il trasporto diretto imposto dalle raffinerie di metalli preziosi. A questo punto alcune aziende di trattamento schede elettroniche si occupano anche del servizio di acquisto dei "preziosi" scarti da imprese e privati, quindi uniscono gli scarti di più aziende e privati per far incontrare a questi ultimi quel minimo. Molte aziende di trattamento delle schede elettroniche e di altre componenti ricche di metalli preziosi stabiliscono il valore dell'hardware trasportato una volta che le schede siano state processate attraverso un sistema di riciclaggio delle PWB.

Figura 8-18 Schede elettroniche dismesse

Esiste anche un altro tipo di operazione: il riciclo. Quella che all'inizio fu una idea "su carta" è ora diventata una operazione che rimuove, ripristina, rimpacchetta e rivende una quantità impressionante di schede elettroniche. In questi impianti si riesce a lavorare di tutto: dal più costoso e complicato microprocessore alle componenti più elementari. Inoltre si recuperano metalli preziosi.
A volte, comunque, il valore della componente reimmessa nel mercato supera quello del metallo prezioso estratto.
Alcune aziende, addirittura, possono rinnovare, accomodare, ripristinare la scheda e riconsegnarla al mittente perfettamente funzionante per gli hardware di provenienza, come fa la Fox Electronics, negli USA, ma questa è un'operazione abbastanza singolare.

Se, poi, le schede sono riutilizzabili allora esse saranno messe nel database per la transazione o l'accordo con il mittente, rimosse dalle piattaforme del PC, ripristinate, rimpacchettate, e poi rivendute nel mercato mondiale.

A questo punto, le schede che debbono assolutamente essere disassemblate e smontate passeranno al trattamento di estrazione e raffinazione dei metalli preziosi.
In Italia non poteva mancare il contributo e l'attenzione dei più grandi orafi ed esperti di metalli preziosi in Europa e forse del mondo: gli Aretini.
Rispondere alla domanda "chi tratta, tra le aziende di trattamento Hi-Tech, le schede elettroniche?" è semplice: "tutte"; ma poco utile dato che le tecnologie di estrazione di metalli preziosi dalle schede va dalla natura meccanica, meccanica-chimica a quella prettamente chimica elettrolitica… ma né si potranno descrivere tali tecnologie né, almeno che non ci si lavori dentro e non si sia un

Figura 8-19 Impianto di recupero alla Fox Electronics

tecnico con la chiave del know how, ce le diranno mai. A questo punto non ci resta, come si farà per tutto l'Hi-Tech, che rimandare in allegato la descrizione delle Aziende che trattano la nostra materia, dire che i più "forti" del mondo sono a Singapore e si chiamano Citiraya e che i più esperti ed antichi conoscitori dei pregiati metalli stanno ad Arezzo. I primi sono abbastanza blindati, i secondi sono leader in Italia sia nel recupero e nell'affinazione dei metalli preziosi, che nei prodotti di chimica fine a base di oro, argento, platino, palladio, rodio, rutenio ed iridio.
Questi ultimi ci concedono uno schema esaustivo del trattamento. Alla Chimet, così si chiama lo stabilimento più importante, arrivano ogni anno circa 1000 t di schede; queste vengono triturate e fuse, quindi, utilizzando metodi chimici ed elettrolitici, si separano i metalli preziosi (oro e argento in prevalenza).

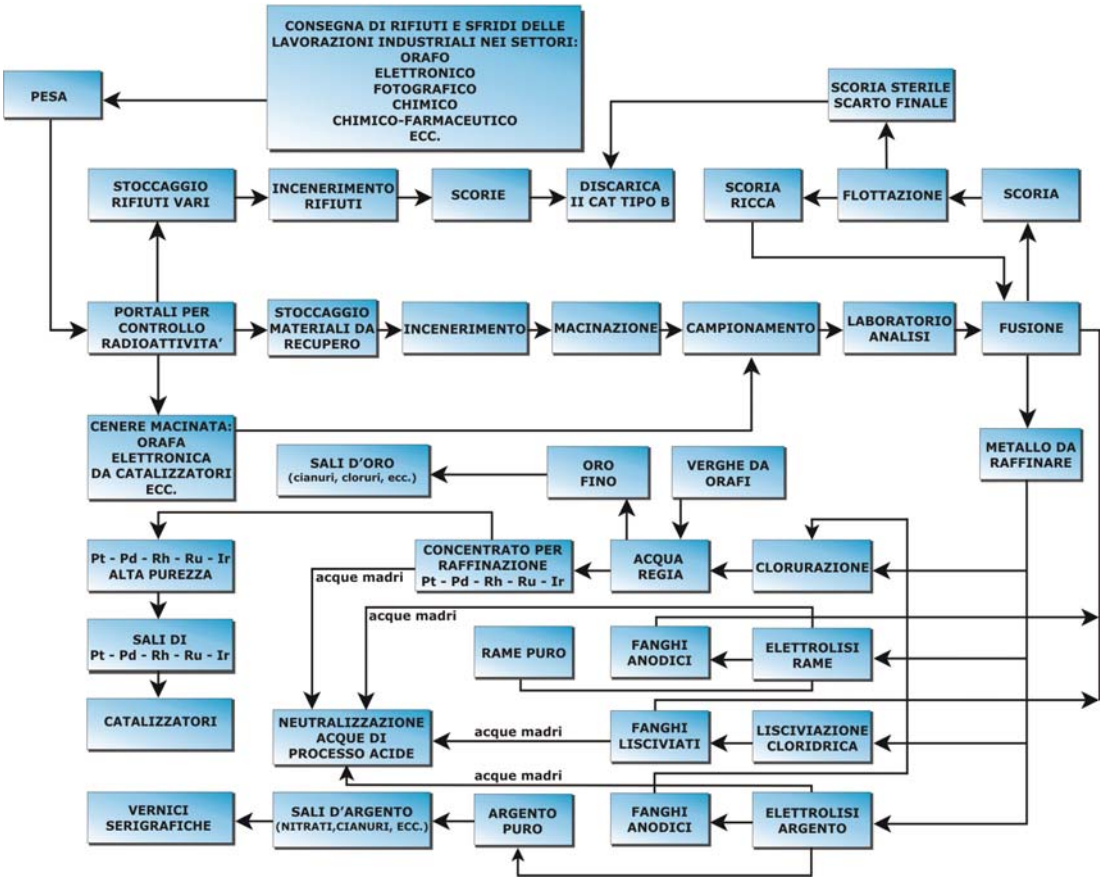


Diagramma 8-4 Flusso di lavorazione alla Chimet[112]

[112] Diagramma di flusso della Chimet, tratto dal sito http://www.chimet.it , 2003.

8.7.1 Processi di separazione meccanica dei componenti dei PC e delle PWB

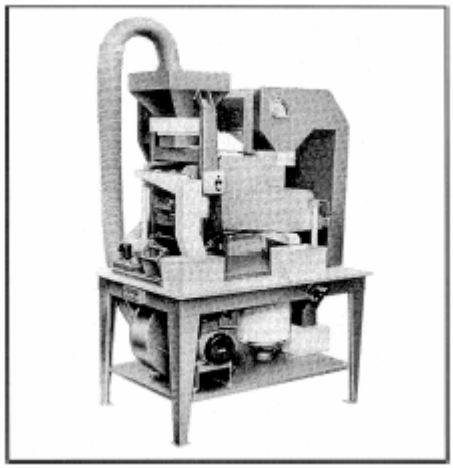


Figura 8-20[1] Illustrazione del separatore di forme

I rifiuti elettrici ed elettronici sono caratterizzati da una alta eterogeneità di materiali e forme, che va a nostro vantaggio nei processi di separazione.[113]
Si pensi che vengono fatti studi per separare le diverse componenti dei PC e delle PWB proprio sfruttando un separatore dimensionale.

La liberazione dei componenti presenti negli scarti elettronici è dovuta ai **deboli legami interfacciali (poca interazione a livello fisico, basse forze di coesione)** tra i metalli usati nelle apparecchiature elettroniche. Quindi non è richiesta molta energia per separare ceramiche, vetro e altri materiali aventi differenti proprietà meccaniche. Ad esempio, le PWB vengono frantumate e separate poi da griglie che si aprono fino ad un massimo di 10mm. La frantumazione avviene alimentando con le schede elettroniche ed altri componenti contenenti pin, connettori, ventole etc. un trituratore ad anello. La separazione avviene in separatore di forma munito di una griglia a spessori regolabili.

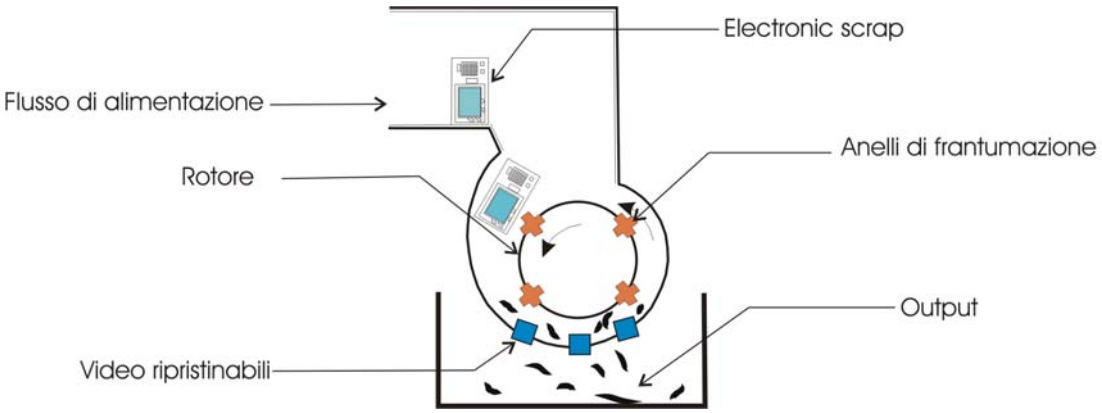


Figura 8-21 Trituratore ad anello[114]

[113] Shunli Zhang, Eric Forssberg, *Intelligent Liberation and classification of electronic scrap*, Powder Technology 105, pp. 295-301, 1999.

[114] Sezione schematica di un trituratore ad anello tratto da: Shunli Zhang, Eric Forssberg, *Intelligent Liberation and classification of electronic scrap*, Powder Technology 105, pp. 295-301, 1999.

I risultati sono riportati in tab. 8-4 e tab. 8-5.

Tabella 8-4[115] Grado di liberazione dei principali metalli dagli scarti dei PC

Range di Alimentazione[116]	Peso %	Grado di Liberazione %		
Mm		Ferromagnetici	Al	Cu
+16	19,95	8,7	----	28,0
-16+9,5	16,91	80,0	100,0	15,4
-9,5+6,7	15,00	95,0	100,0	48,6
-6,7+4,75	12,71	95,4	n.d.[117]	62,5
-4,75+1,7	16,32	99,2	n.d.	99,0
-1,7+0,6	10,46	100,0	n.d.	99,0
-0,6+0,3	3,54	100,0	n.d.	100,0
-0,3	5,21	100,0	n.d.	100,0
Totale	100,00	77,0		53,7

Tabella 8-5[118] Grado di liberazione dei principali metalli dagli scarti delle PWB

Range di Alimentazione	Peso %	Grado di Liberazione %		
Mm		Ferromagnetici	Al	Cu
+16	19,95	8,7	----	28,0
-16+9,5	16,91	80,0	100,0	15,4
-9,5+6,7	15,00	95,0	100,0	48,6
-6,7+4,75	12,71	95,4	n.d.	62,5
-4,75+1,7	16,32	99,2	n.d.	99,0
-1,7+0,6	10,46	100,0	n.d.	99,0
-0,6+0,3	3,54	100,0	n.d.	100,0
-0,3	5,21	100,0	n.d.	100,0
Totale	100,00	77,0		53,7

Si può vedere che per le frazioni *in media* minori di 3mm si ottiene la completa liberazione dei metalli. Nelle frazioni di dimensione maggiore, il Rame ha una minore liberazione dovuta alla presenza di "pin" inseriti nella plastica o segmenti di fili di Rame incapsulati da plastica.

Anche i ferromagnetici ottengono una buona liberazione tranne che per le frazioni più grosse di 16mm, dove anche qui i metalli si presentano legati alle plastiche. Inoltre, l'Alluminio nella frazione +7mm, raggiunge la completa liberazione. Nella figura 8-22 sono mostrati i risultati della separazione dei frammenti ottenuti dal trattamento dei PC e delle PWB.

---

[115] Shunli Zhang, Eric Forssberg, *Intelligent Liberation and classification of electronic scrap*, Powder Technology 105, pp. 295-301, 1999.
[116] I simboli "-" e "+" rappresentano I valori limite inferiore e superiore dell'intervallo.
[117] N.d. sta per non determinato.
[118] Shunli Zhang, Eric Forssberg, *Intelligent Liberation and classification of electronic scrap*, Powder Technology 105, pp. 295-301, 1999.

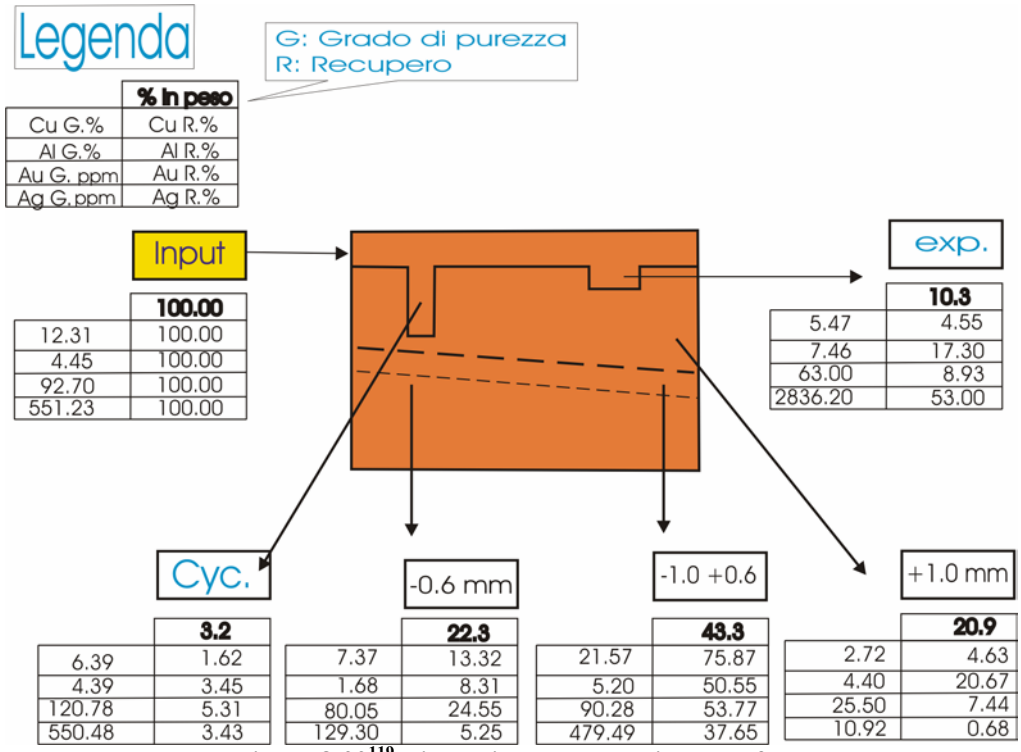


Figura 8-22[119] Risultati della separazione per forma

Si può vedere che Cu e Au sono più concentrati nelle frazioni -1,0+0,6 e -0,6mm; l'Alluminio nella frazione -1,0 +0,6.
L'Argento è distribuito nelle frazioni più leggere e nella frazione -1,0 +0,6.
Le ragioni di questo ultimo risultato sono che l'Argento è usato come placcatura delle leghe Fe-Ni ed è usato per la copertura di ceramiche e altri materiali conduttori.
Esiste anche una sostanziale presenza di Br che può essere presente nelle frazioni granulari. E' quindi necessario rimuovere la polvere presente nei materiali perché contiene Br che è risaputo essere tossico.
Quindi questa tecnica ci dà una speranza per il riciclaggio dei PC e delle PWB in quanto ci permette di separare i componenti presenti in questi rifiuti in maniera intelligente.

8.7.2 Ricerche sul riciclaggio di schede elettroniche

Le PWB contengono metalli per il 30% del loro peso. Nella maggior parte dei casi questi metalli sono: Oro, Platino, Argento, Rame, Stagno e Piombo.
Attualmente[120] per recuperare i metalli non preziosi si usano processi basati su metodi meccanici, pirometallurgici ed idrometallurgici nei quali il valore delle

[119] Shunli Zhang, Eric Forssberg, *Intelligent Liberation and classification of electronic scrap*, Powder Technology 105, pp. 295-301, 1999.

[120] da www.azom.com , 2003.

componenti elettroniche è totalmente perso e non è possibile recuperare il metallo ad alte rese.

Ricercatori dell'Università di Cambridge hanno collaborato con i colleghi della Alpha-fry Ltd e EA Technology per sviluppare e brevettare un processo che impiega un agente chimico dissolvente in grado di liberare tutte le componenti elettroniche come chips e condensatori per il riciclaggio e recuperare metalli di valore e altri materiali[121].
La chiave di questo nuovo processo è un agente dissolvente selettivo che sia altamente efficiente nel dissolvere la saldatura usata nelle schede elettroniche e che non abbia alcun effetto sulla performance dei componenti elettronici.
Questo dissolvente selettivo sviluppato, è composto da acido fluoroborico contenente una coppia redox del Titanio. Il dissolvente scioglie il Piombo e lo Stagno contenuti esattamente nello stesso rapporto della saldatura, lasciando il contenuto del Rame sulle schede intatto. Lo stesso processo può essere applicato alle schede dopo che sono state trattate per rimuovere residui ferrosi e Alluminio. L'agente dissolvente può essere rigenerato con la galvanostegia che permette di recuperare il metallo della saldatura.
Il professor Derek Fray Head del Dipartimento di Scienza dei Materiali e Metallurgia all'Università di Cambridge, ha chiarito che, a differenza dei processi termici, questa tecnica non degrada l'efficienza delle componenti estratte. Si possono recuperare le componenti e separarle in funzione del tipo, del valore sul mercato e della tossicità. Il prossimo passo è quello di applicare questa tecnologia su scala industriale.

Per il recupero di metalli preziosi il professor Geoff Kelsall del Dipartimento di Ingegneria Chimica e Tecnologia Chimica dell'Imperial College di Londra ha sviluppato un metodo per recuperare metalli preziosi e metalli pesanti dai rifiuti elettronici. L'essenza del processo è la sua abilità nel dissolvere tutti questi metalli non selettivamente per poi recuperarli selettivamente o non selettivamente. Sfortunatamente non si può recuperare tutto, comunque si recupera un ampio range di metalli.
Il processo usa due reattori. Un reattore a dissoluzione e uno elettrochimico. Usando Cloro generato anodicamente, il reattore a dissoluzione scioglie i metalli, mentre l'altro ha due funzioni: esso non solo rigenera i reagenti che dissolvono i metalli, ma recupera dalla soluzione i metalli sciolti nel reattore a dissoluzione. L'intero processo richiede energia elettrica per spostare il metallo dal rifiuto elettronico al catodo del reattore per produrre solo rifiuti demetallizzati. Essenzialmente non si fa altro che muovere i materiali da un posto all'altro. Il cloro è un ossidante non selettivo ed è stato scelto appositamente per ossidare in maniera non selettiva dando la possibilità di recuperare selettivamente. Usando un piccolo impianto pilota capace di lavorare 10 kg di rifiuti al giorno, Kelsall e i suoi ricercatori hanno dimostrato la semplicità del processo. Adesso il prossimo passo è la costruzione di un impianto che può trattare 100 kg al giorno. Si pensa che nel giro di due anni si possa disegnare un impianto pilota di dimensioni industriali. Tra i metalli che non si possono recuperare c'è anche l'Alluminio che

[121] Materials World, vol.10, no.11,pp.17-18, Novembre 2002.

non può essere elettrodepositato dalle soluzioni acquose e questo comporta l'aggiunta di un ulteriore unità di processo per evitare l'accumulo di Alluminio nella soluzione.

8.8 Riciclaggio delle Plastiche

8.8.1 Le proprietà fisiche e chimiche delle plastiche

La separazione fisica di miscugli di plastiche dipende strettamente dalle proprietà fisiche delle plastiche che devono essere separate.
Ci sono due categorie di proprietà fisiche: proprietà fisiche che rimangono fisse come la densità e proprietà fisiche che possono essere modificate come l'energia superficiale, la dimensione delle particelle, la forma, la ruvidità superficiale.
Il grafico 8-1 mostra la densità di alcune plastiche. Si può vedere che PVC e PP possono essere separate per gravità, ma è difficile, quasi impossibile, separare PVC e PET che hanno densità molto simili.

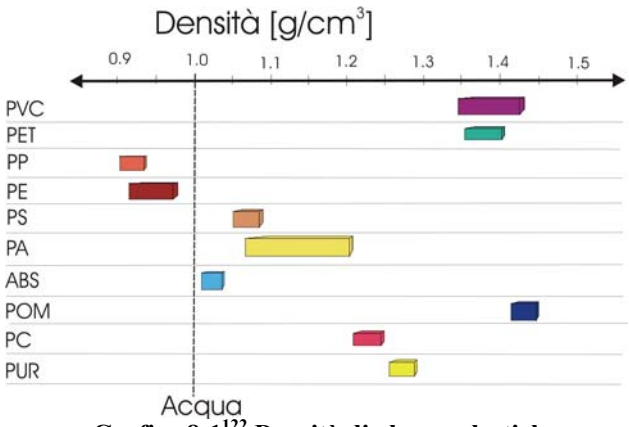


Grafico 8-1[122] Densità di alcune plastiche

Il grafico 8-2[123] mostra la sequenza di caricamento triboelettrico per queste plastiche.
In teoria tutte le plastiche possono essere separate l'una dall'altra per separazione elettrostatica. Tuttavia, in pratica, la tecnica ha le sue limitazioni in quanto differenti additivi nello stesso tipo di plastica possono spostare la posizione nel caricamento. Questi possono diminuire la differenza nelle proprietà di caricamento e perciò l'efficienza nella separazione. E' inevitabile che i rifiuti plastici sono frequentemente inquinati per cui una miscela di plastiche contenenti più di due tipi di plastica può avere una diminuzione nell'efficienza di separazione.

[122] H.Shent et al., *A review of plastic recycling and the flotation of plastics*, Resources,Conservation and Recycling 25, pp. 85/109, 1999.

[123] H.Shent et al., *A review of plastic recycling and the flotation of plastics*, Resources,Conservation and Recycling 25, pp. 85/109, 1999.

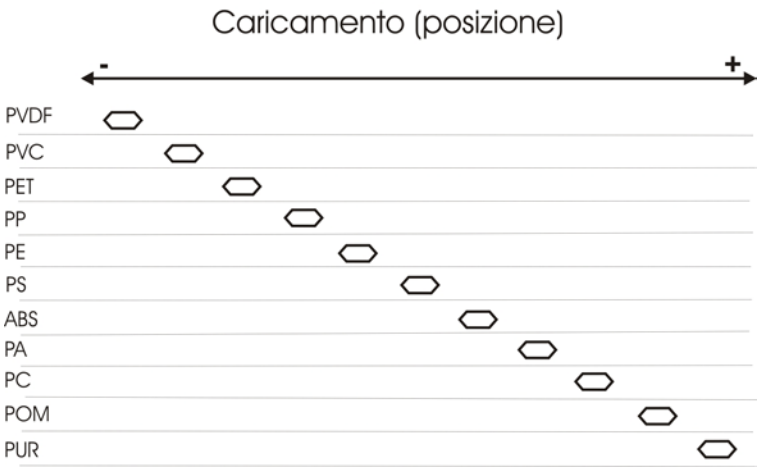


Grafico 8-2[124] Sequenza di caricamento triboelettrico

8.8.2 Plastiche nei RAEE

In tutti i settori merceologici è presente la plastica. Il grafico seguente riporta la distribuzione delle plastiche tra i vari settori merceologici.

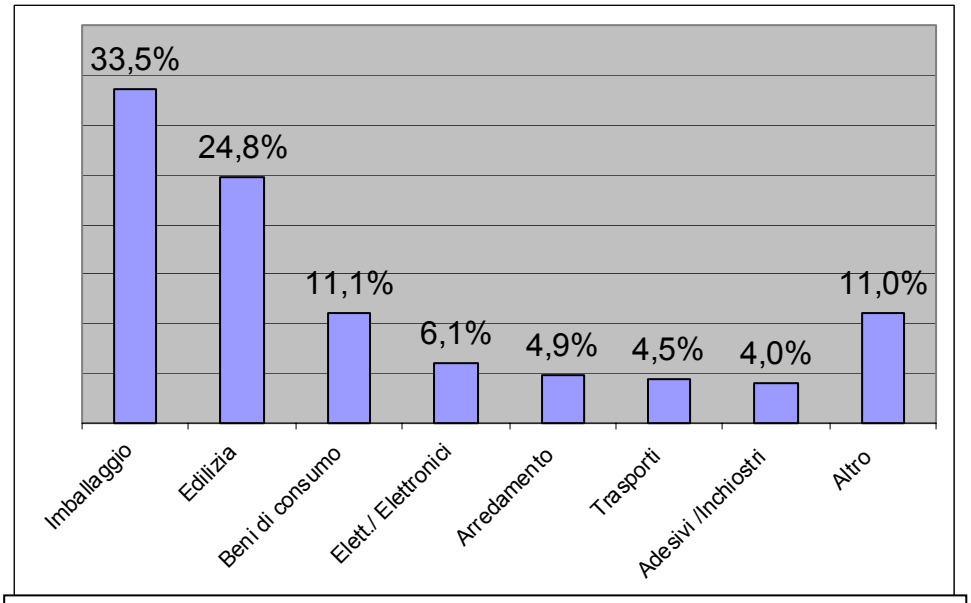


Grafico 8-3 Distribuzione delle plastiche tra i vari settori merceologici

[124] H.Shent et al., *A review of plastic recycling and the flotation of plastics*, Resources,Conservation and Recycling 25, pp. 85/109, 1999.

Le materie plastiche rappresentano una fetta rilevante dei rifiuti elettrici ed elettronici e questo ha un grosso impatto sulla gestione dei rifiuti solido urbani, in quanto il più delle volte sono prodotti non biodegradabili e l'incenerimento delle plastiche può causare emissioni tossiche e residui della combustione che contengono Piombo e Cadmio. Un'alternativa al deposito delle materie plastiche è il riciclaggio.
Il riciclaggio dei rifiuti plastici offre la potenzialità di risparmiare sul consumo di combustibili fossili in quanto, la plastica riciclata, può sostituire e anche competere con le resine vergini prodotte dal petrolio raffinato e perché l'energia richiesta per ottenere plastica riciclata può essere meno di quella consumata nella produzione delle stesse resine da materie prime vergini. Sebbene il riciclaggio delle plastiche è importante, le stime fatte negli ultimi anni '90, indicano che la percentuale di plastica riciclata è molto bassa.

8.8.3 Rifiuti plastici riciclati

Il riciclaggio delle plastiche richiede 4 fasi: Raccolta, Separazione, Trasformazione e Vendita.

Il trattamento delle plastiche si dirama in:
1) Separazione dei componenti
2) Recupero di energia
3) Riciclaggio chimico

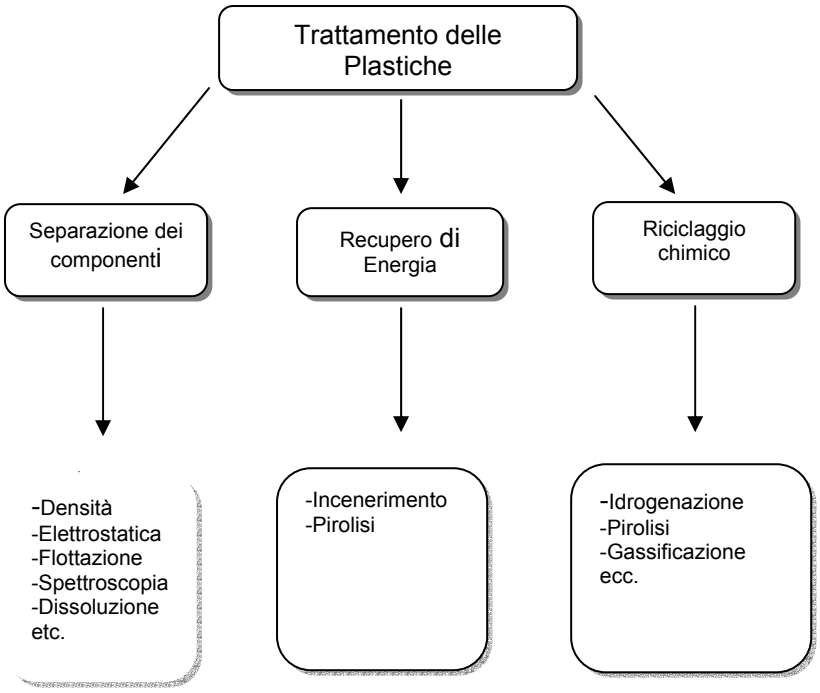


Diagramma 8-5 Schematizzazione della fasi di trattamento dlle plastiche

Dato che solo usando resine pulite e omogenee si possono produrre prodotti in plastica riciclata della più alta qualità, è necessaria una efficiente separazione dei rifiuti plastici. Sebbene molte tecnologie di separazione includano la separazione automatica e le separazioni per gravità e elettrostatica possano essere applicate per separare miscele plastiche, queste hanno la loro limitazione.
La soluzione di questi problemi potrebbe essere la flottazione.[125]

8.8.4 "Flottazione delle plastiche"?

Il processo di flottazione è utilizzato per la rimozione di solidi sospesi totali (SST) flottabili e non sedimentabili (industria alimentare), grassi ed oli (emulsioni oleose minerali) dai liquami, oltre che per la separazione e la concentrazione dei fanghi di supero da processi biologici (ispessimento).
Nella summenzionata operazione tali sostanze sono separate dal liquido, sia sfruttando la loro bassa densità, sia provocandone il galleggiamento (flottazione, mediante preventiva iniezione di una corrente gassosa (pressurizzazione dell'intera portata in trattamento o, meglio, di una frazione dell'effluente, già trattato, a circa 1.36+3.4 atm, alla presenza di una quantità d'aria sufficiente ad ottenere la completa saturazione).
In entrambe i casi si trae vantaggio dal principio di Archimede (250 a.C.) per i corpi immersi in un fluido.

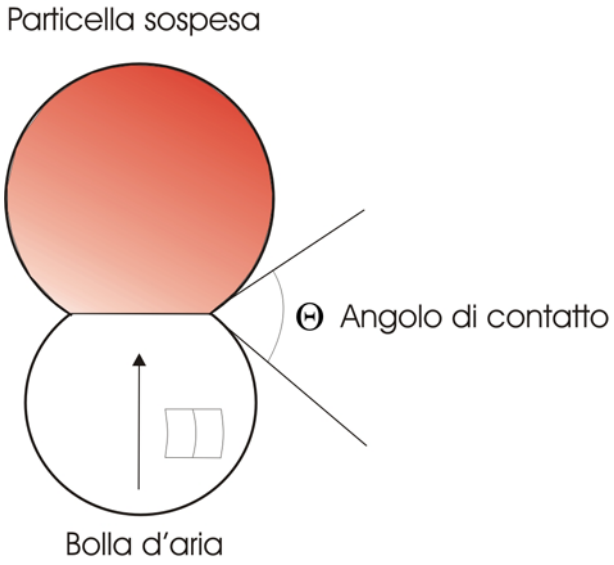


Figura 8-23 Adesione di una bolla d'aria con una particella solida sospesa

Quando la miscela pressurizzata " aria-liquido" è introdotta nell'unità di Flottazione, a pressione atmosferica, sono rilasciate in soluzione piccolissime bolle d'aria. I fiocchi di fango, i SST o i globuli di olio presenti in soluzione sono quindi fatti flottare dalla spinta idrostatica di queste bollicine che aderiscono dapprima e sono successivamente inglobate negli agglomerati delle particelle.
La miscela "aria/solidi" risale poi alla superficie da dove viene rimossa per mezzo di scolmatori superficiali.
Il liquido così chiarificato è rimosso dal fondo dell'unità di flottazione (processo inverso a quello della sedimentazione). La flottazione può essere vantaggiosamente impiegata per la separazione d'oli, grassi, fibre e sostanze sospese in genere, preferibilmente a bassa densità.

[125] H.Shent et al., *A review of plastic recycling and the flotation of plastics*, Resources,Conservation and Recycling 25, pp. 85/109, 1999.

Il sollevamento delle particelle può avvenire in due modi differenti:

a) per cattura delle bollicine d'aria da parte dei fiocchi in sospensione;
b) per adesione delle bollicine d'aria alle particelle sospese.

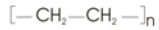
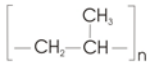
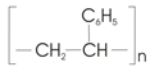
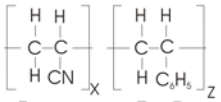
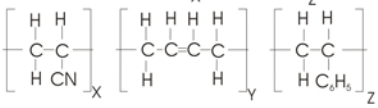
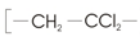
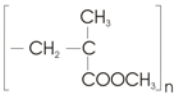
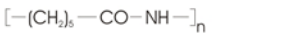
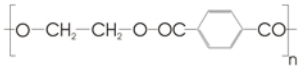
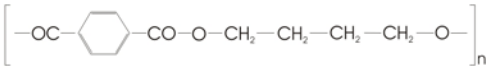
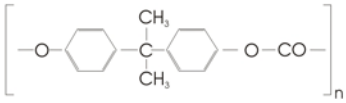
Come mostra la figura, quando una bollicina gassosa risalendo incontra una particella solida, aderisce ad essa per effetto delle tensioni interfacciali secondo un determinato angolo di contatto formato dalle tangenti alla superficie del solido ed a quella del gas, nel punto di contatto tra le due fasi (solido-liquido/gas-liquido).
Dato che lo scopo della flottazione è di favorire il galleggiamento, occorre ridurre al minimo la superficie di contatto con il liquido; si deve di conseguenza aumentare la superficie d'appoggio dell'aria al granello solido e ciò sarà tanto più realizzato quanto minore sarà l'angolo Θ.
Risulta evidente che quanto minore è l'angolo Θ tanto più stabile è la superficie di contatto tra bollicina e particella e quindi tanto più efficace il processo di flottazione. Θ è legato alle tensioni interfacciali dall'equazione di equilibrio di Lippmann-Reinders: $T_{GS} = T_{SL} + T_{GL}\cos\Theta$ da cui: $\cos\Theta = (T_{GS} - T_{SL})/T_{GL}$ nella quale T indica, appunto, la generica tensione e gli specifici pedici "GS, SL" e "GL" vogliono indicare, rispettivamente: tensione superficiale gas- solido, solido-liquido e gas liquido. Dato che lo scopo della flottazione è di favorire il galleggiamento, occorre ridurre al minimo la superficie di contatto con il liquido; si deve in conseguenza aumentare la superficie d'appoggio dell'aria al granello solido e ciò sarà tanto più realizzato quanto, come detto, maggiore è l'angolo Θ ($\Theta = 13°$ per particelle colloidali in acqua pura). La condizione che si deve realizzare è la seguente: $T_{GS} < T_{SL}$**, cos** $\Theta < 0$**;** $\Theta > \pi/2$ (condizioni di galleggiamento o flottazione).
La suindicata equazione mostra chiaramente l'importanza che può avere l'aggiunta di reattivi, strutturalmente ed elettrostaticamente, atti a modificare le tensioni interfacciali ($\Rightarrow$r. *apolari* a struttura simmetrica, campo di forze uniforme e comportamento *idrofilo*), ai fini di rendere più efficace il processo. Ciò mostra l'importanza che può avere l'aggiunta di reattivi, strutturalmente ed elettrostaticamente atti a modificare le tensioni superficiali ai fini di rendere più efficace il processo.

Tutto quello che è stato detto fino ad ora sulla flottazione può essere applicato alle plastiche.

La tabella che segue riporta le strutture dei più comuni polimeri[126]:

[126] H.Shent et al., *A review of plastic recycling and the flotation of plastics*, Resources,Conservation and Recycling 25, pp. 85/109, 1999.

Tabella 8-6 Strutture polimeriche più comuni

Polimero	Abbreviazione	Categoria molecolare	Formula
Polietilene	PE	Poliolefina	
Polipropilene	PP	Poliolefina	
Polistirene	PS	Polistirene	
Polistirene Acrilonitrile	SAN	Copolimero	
Acrilonitrile-butadiene-stirene	ABS	Copolimero	
Polivinilcloruro	PVC	Vinilcloruro	
Polimetil-metacrilato	PMMA	Poliacrilato	
Polioximetilene	POM	Polietere	
Nylon 6	PA6	Poliammide	
Polietilene-teraftalato	PET	Poliestere	
Polibutilene-teraftalato	PBT	Poliestere	
Policarbonato	PC	Polimero aromatico	

Si può vedere che alcuni polimeri contengono gruppi non polari come PE, PP e PS, mentre altri contengono alcuni gruppi laterali polari che contengono atomi elettronegativi come ossigeno, azoto, cloro. Alcuni polimeri sono alifatici, altri aromatici e alcune plastiche contengono miscele di polimeri. Delle plastiche non sono dei polimeri puri. Sono formate da polimeri e additivi.
La ricerca sulla flottazione delle plastiche ha avuto inizio negli anni '70. I primi risultati riguardavano la separazione per flottazione del PVC da altre plastiche. Ultimamente le ricerche in questo settore sono aumentate, si pensi che un impianto pilota perla flottazione delle materie plastiche, è stato recentemente costruito in Germania.

Sfruttando la differenza di tensione superficiale tra le plastiche le si può separare selettivamente per flottazione e se non c'è molta differenza si possono modificare le proprietà superficiali delle plastiche con un condizionamento chimico o fisico; la

flottazione viene condotta in un mezzo liquido che può essere una miscela acquosa o non acquosa con uno specifico valore di tensione superficiale.
Per esempio, facendo adsorbire sulla superficie del polimero una sostanza che è in grado di modificare l'idrofobicità del polimero stesso (condizionamento chimico) o intrappolando le funzioni polari del polimero come i gruppi –OH oppure –COOH.
La flottazione delle plastiche è un metodo più flessibile di altre tecniche e potrebbe rivelarsi utile nella separazione delle miscele plastiche. Comunque c'è ancora molta strada da fare finché questa tecnica possa essere applicata con successo a livello industriale.

8.8.5 L'incenerimento delle plastiche

Il grosso vantaggio che ha l'incenerimento rispetto alla discarica è che bruciare i rifiuti genera energia e riduce enormemente il volume dei rifiuti .
I rifiuti elettronici contengono circa il 30% di plastiche che sono composte da tre categorie di polimeri:

- POLIMERI C-H-O (contenenti solo carbonio, idrogeno ed ossigeno)
- POLIMERI ALOGENATI
- POLIMERI CONTENENTI AZOTO

Inoltre i Polimeri possono essere classificati in tre principali categorie:

1) i Termoindurenti che sono tipicamente polimeri rigidi;
2) i Termoplastici che non sono generalmente fragili a temperatura ambiente ma molti di essi lo diventano a temperature più basse;
3) gli Elastomeri che,come la gomma, diventano fragili a basse temperature.

Le analisi a spettroscopia infrarossa (IR) vengono usate per identificare le plastiche presenti nelle apparecchiature elettroniche.
Il grafico 8-4 mostra lo spettro IR ottenuto per i PC e le PWB. Da questo spettro è evidente che le plastiche usate nei materiali elettronici sono molto complesse.

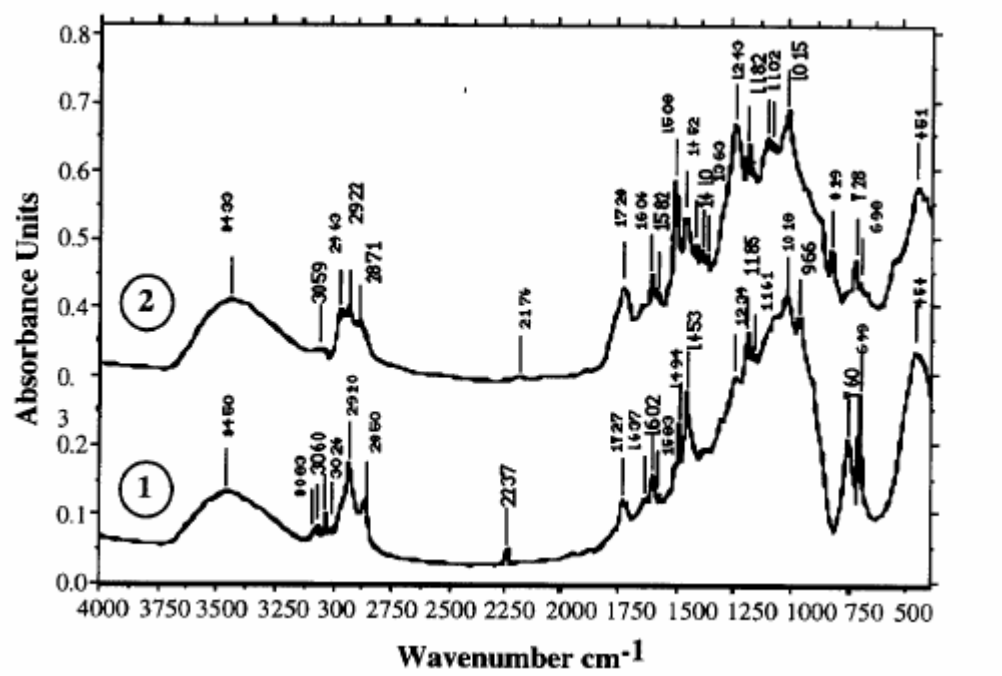


Grafico 8-4[127]Spettro di PC (1) e PCB (2) ottenuto con l'infrarosso

I picchi rappresentano gruppi funzionali contenuti nei polimeri; lo spettro IR rappresenta un po' la "impronta" di una molecola e, per delle macromolecole come i polimeri che incontriamo nelle nostre analisi (ma in generale), questa indagine ci è molto utile.
Da essa, infatti, sapendo quali, quanti e quando si presentano determinati picchi in determinate molecole, possiamo risalire al tipo di polimero presente.
Pur essendo complicate sia le analisi sia le plastiche, tuttavia alcuni picchi possono essere identificati, come quelli dell'acrilonitrile-butadienstirene (ABS) che presenta una banda caratteristica ad un numero d'onda di 2236 cm $^{-1}$. Dalle analisi IR si evidenzia che la maggior parte delle plastiche usate nei PC, sono fatte da ABS.
La maggior parte delle plastiche sono non biodegradabili, il loro potere calorifico medio è circa 40 GJ/t. Quindi l'incenerimento di questi materiali potrebbe essere usato come fonte di energia.
Nel grafico seguente è riportato, a titolo di paragone, il valore energetico di alcuni tipi di plastica insieme a quelli di altri combustibili e carta.

L'inconveniente di questo genere di trattamento sta nella eventuale presenza, all'interno delle emissioni gassose prodotte, di sostanze dannose per l'ambiente e la salute.

[127]N.Menad,Bo.Bjorkman,Eric G.Allain, *Combustion of plastics contained in electric and electronic scrap*, Resources, Conservation and Recycling 24 pp. 65-85, 1998.

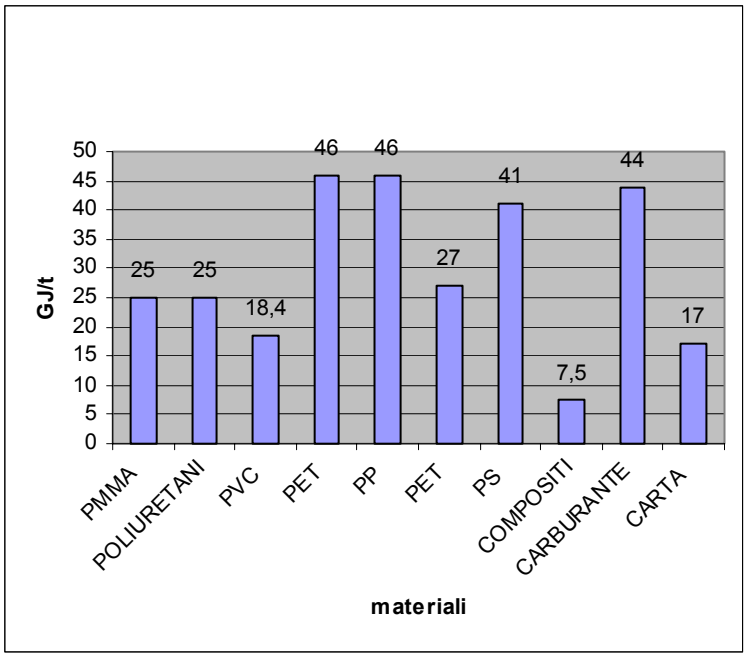


Grafico 8-5 Valori di calore di differenti plastiche in confronto con quelli di combustibile e carta

Tutti gli idrocarburi, il carbone, il petrolio e la gran parte dei composti organici, sono termodinamicamente instabili a temperatura ambiente, tranne il metano (CH_4) e l'etano (C_2H_6), che sono stabili. Tuttavia quest'ultimo si decompone a 500°C a grafite ed idrogeno. A questa temperatura, se reagisce con l'Ossigeno, produce una miscela di CO e H_2O.

Durante la completa combustione dei prodotti organici, si ha la formazione di molecole come CO_2, H_2O, N_2, SO_2 e alogenuri di idrogeno. Inoltre, la combustione incompleta, produce composti più complessi e pericolosi come HCN e CO.

Alcune plastiche, per combustione, possono anche produrre componenti acidi come HCl e P_2O_5.

Gruppi di ricercatori sostengono che il polistirene produce solo CO_2 e H_2O e questo perché il suo contenuto di petrolio brucia a temperature così alte da poter bruciare anche le impurità che si depositano all'interno dell'inceneritore, ma bisogna ricordare che anche il diossido di carbonio è dannoso in quanto contribuisce al riscaldamento della Terra.

D'altra parte è stato dimostrato che, tra 800°C e 900°C, il prodotto della combustione del polistirene, è una complessa miscela di idrocarburi policiclici aromatici: circa 90 differenti composti sono stati identificati nei gas emessi nella combustione di questo materiale.

Se i rifiuti contengono cloro allora la loro combustione contribuirà alla formazione di composti policiclici altamente clorurati, come diossine, furani, esaclorobenzene e clorofenoli; se le plastiche contengono PVC allora ci sarà un incremento di immissioni di prodotti clorurati. Durante l'incenerimento dei rifiuti contenenti plastiche, sono stati identificati, nelle emissioni gassose, anche metalli pesanti tossici come Cadmio e Piombo.

Si capisce bene che bruciare rifiuti così complessi comporta la formazione di differenti tipi di reazioni come la Decomposizione termica, il Riarrangiamento molecolare e la Polimerizzazione di molecole leggere.

Queste reazioni sono molto complesse e dipendono da vari parametri, come la durata del contatto, la temperatura, gli effetti catalitici, la composizione dei rifiuti stessi.
La figura mostra un esempio di degradazione di molte plastiche, in un range di temperature comprese tra 25°C e 1000°C, sotto un'atmosfera di azoto.

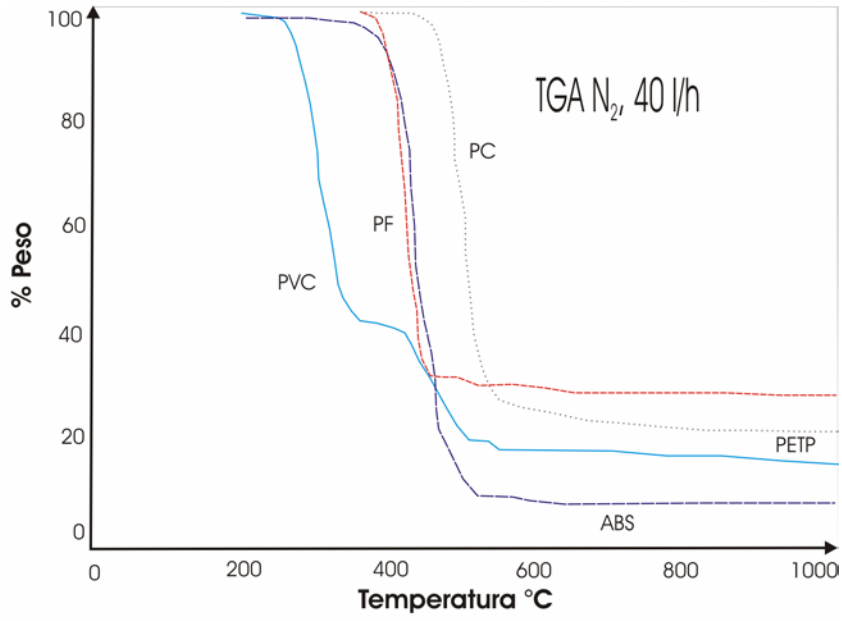


Grafico 8-6[128] Termogramma di differenti materiali plastici in atmosfera di azoto

Questo termogramma indica che la Pirolisi avviene in 3 stadi. Nel primo stadio la velocità di perdita di peso è relativamente bassa ed è probabilmente dovuta alla disitradazione di queste plastiche. Il secondo stadio è caratterizzato da una rapida perdita di peso e questo può essere attribuito all'allontanamento dei composti più volatili risultanti dalla depolimerizzazione di ABS, PVC, PC, PETP e PF.
La perdita di peso è di circa il 90% per ABS, l'80% per il PVC, il 77% per il PC, il 70% per l'PETP e il 50% per il PF. La sezione finale può essere attribuita alle reazioni di formazione di H_2O, CO_2 e CO.

8.9 Batterie esauste

L'energia portatile che dai tempi di Volta ci accompagna nella nostra vita è diventata, ad oggi, un problema veramente importante. Infatti, nel Mondo attuale possiamo ritrovare le pile e le batterie ovunque: dal telefono cellulare al videogioco, dal Lego al notebook, dal telecomando alla moto, dall'autovettura all'aspiratore senza fili e si potrebbe continuare per molte pagine. Naturalmente esistono disparati tipi di batteria: quelle al piombo, quelle al nichel-cadmio, al nichel e metallo idruro, quelle al litio, quelle agli ioni di litio; quelle con effetto memoria e quelle senza.

[128] N.Menad,Bo.Bjorkman,Eric G.Allain, *Combustion of plastics contained in electric and electronic scrap*, Resources, Conservation and Recycling 24, pp. 65-85, 1998.

Nel parlare di trattamento di RAEE, allora, dobbiamo includere ciò che rende gli AEE, o cosa per loro, portatili: le batterie. Le suddette, proprio per la loro diffusione, non solo continuano ad essere un bel grattacapo per chi di rifiuti si occupa, ma hanno cominciato a dare problemi già da tempo, a differenza dei RAEE in generale; infatti, già da anni, sia le aziende di trattamento, sia i consorzi, sia soprattutto gli enti nazionali e governativi, hanno dato al problema una risposta capillare: i raccoglitori. Insieme a plastica, vetro, carta, medicinali scaduti, lattine, i contenitori per pile esauste, infatti, hanno occupato le nostre città già da tempo, e questo ci fa rendere conto del problema nella sua grandezza. Come abbiamo detto in testata, si parlerà di componenti presenti un po' *sempre* e *dappertutto*, di componenti "uno per tutti"; in questo discorso non possiamo dimenticare le pile, le batterie, gli accumulatori.

Allora, il problema dello smaltimento, recupero e trattamento di batterie è una grossa faccenda che parte dal produttore, passa dal consumatore ed arriva al gestore dei beni a fine vita; tutti gli attori hanno **la stessa responsabilità**, infatti il bambino che non getta la batterie del videogioco non fa lavorare i gestori del fine vita e dà al produttore una grossa preoccupazione: dove vanno a finire le batterie, come faccio a non inquinare ed a partecipare alla gestione se i consumatori non le mandano al trattamento?
E' nato, nel 1992, il Cobat, il Consorzio Obbligatorio batterie esauste, il più grande gestore governativo del fine vita delle batterie e pile e leader in Europa per tasso di raccolta sulle batterie d'avviamento recuperate. Il consorzio è nato ed opera soprattutto sulle batterie di avviamento ma non esiste nessuno che conosca il problema e che sviluppi una mole di lavoro così significativa sulle **batterie in generale**.

Tabella 8-7 I "numeri" del COBAT

1992	Primo anno di piena operatività del Consorzio
86	Raccoglitori Incaricati del Servizio Cobat
6	Impianti di riciclaggio del piombo consorziati
176.738 ton	Batterie esauste raccolte nel 2000
96.000 ton	Piombo metallo riciclato nel 2000
34 milioni	Litri di acido solforico neutralizzato nel 2000
1.412.000 ton	Batterie raccolte dal 1992 al 2000
760.000 ton	Piombo metallo riciclato da1 1992 al 2000
265 milioni	Litri di acido solforico neutralizzato dal 1992 al 2000
200 ton/anno	Batterie al Nichel-cadmio (perlopiù industriali) raccolte
1.600 ex-lire	Sovrapprezzo medio nel 2000 (il più basso in Europa)
6%	Crescita nella raccolta nel '00 rispetto al '99 (tasso mai registrato)

37%	Apporto medio al fabbisogno di piombo (260.000 ton/anno)
66%	Risparmio energetico nella produzione di piombo riciclato
94%	Tasso medio di raccolta sulle batterie d'avviamento

Al COBAT, inoltre, partecipano numerose società di trattamento.

Partecipazione al Cobat			
Imprese di Riciclo	**Produttori e Importatori di Batterie**	**Associazioni Raccoglitori e Demolitori Auto**	**Confederazioni Installatori e Artigiani**

Il cobat, inoltre, dà un appoggio meraviglioso all'ecologia, alla sensibilizzazione ed alla informazione sulla dannosità dei materiali trattati.

8.9.1 Le campagne di comunicazione

Per evitarne la dispersione, le iniziative del Cobat mirano ad informare sui danni ambientali causati dall'abbandono sconsiderato degli accumulatori esausti. Per questo il Consorzio collabora da anni in svariate iniziative, tra le quali "Bandiere Blu d'Europa" della Fondazione Europea per l'Educazione Ambientale (FEEE), e "Spiagge e Fondali Puliti" di Legambiente, "Vivere il Mare" della Union Contact.

8.9.2 Il processo di riciclaggio delle batterie al Piombo esauste

Lo smaltimento metallurgico delle batterie al piombo esauste mediante il recupero del metallo in esso contenuto presenta notevoli vantaggi per la collettività, sia in termini economici che ambientali. Se non fosse possibile il riciclo, infatti, lo smaltimento delle batterie potrebbe avvenire solo con l'abbancamento in discariche idonee a ricevere rifiuti tossico-nocivi. Quest'ultima soluzione risulterebbe oltremodo onerosa sia per gli eccessivi costi della discarica sia per il mancato recupero e valorizzazione del metallo Pb e di alcune componenti plastiche, oltreché dannosa per l'ambiente.

A tale scopo basti pensare che il metallo riciclato dalle batterie esaurite rappresenta oltre il 40% della produzione italiana di piombo nonché il 37% del fabbisogno nazionale di metallo. Tale produzione secondaria richiede altresì minore energia rispetto a quella necessaria per la lavorazione del minerale.

8.9.3 Gli impianti di riciclaggio

Oltre a possedere, attraverso il Cobat, uno dei migliori modelli d'impresa dediti alla raccolta dei rifiuti, l'Italia vanta anche una tecnologia per il riciclaggio delle batterie

esauste tra le più aggiornate al mondo. Sono sei gli impianti consorziati del Cobat in Italia che effettuano il riciclaggio delle batterie per una capacità installata di 442.000 ton/anno, addirittura superiore rispetto ai volumi provenienti dalla raccolta. Tali impianti sono situati in Lombardia, in Campania, in Calabria e in Sicilia:

1. ECO-BAT S.p.A. - Paderno Dugnano (Mi)
2. ECO-BAT S.p.A. - Marcianise (CE)
3. PIOMBOLEGHE S.r.l. - Brugherio (MI)
4. PIOMBIFERA BRESCIANA S.p.A. - Maclodio (BS)
5. ME.CA. S.r.l. - Lamezia Terme (CZ)
6. E.S.I. - Pace del Mela (ME)

8.9.4 Il processo di recupero e la frantumazione delle batterie

Gli impianti consorziati utilizzano un processo che prevede, anzitutto, la fase di frantumazione delle batterie. Dall'area di stoccaggio le batterie vengono caricate in una tramoggia e, tramite nastri trasportatori, sono inviate alla sezione frantumazione composta da mulini a martelli.

Il prodotto frantumato con pezzatura calibrata viene trasferito ad un sistema vagliante a umido dove avviene la **separazione accurata della parte metallica** fine ossidata dal mix di griglie metalliche e materie plastiche.
La parte metallica fine (detta "pastello") viene trasferita ad un filtro pressa. Il mix di griglie metalliche e materie plastiche viene avviato, mediante nastri, al separatore idrodinamico in controcorrente che, sfruttando la differenza di densità dei vari componenti frantumati, separa le componenti plastiche da quelle metalliche. In questa fase viene anche liberata la parte liquida della batteria (soluzione acquosa di acido solforico) che viene inviata all'impianto di neutralizzazione.
In questo impianto avviene l'attacco dell'acido con calce idrata e con agenti flocculanti che consentono la decantazione dei solidi disciolti ed il raggiungimento della neutralizzazione del liquido ai valori fissati dalla normativa sugli effluenti.

8.9.5 Principali tipi di pile e accumulatori in uso

Per batteria o accumulatore si intende un generatore di energia a base metallica ricaricabile. Di seguito vengono elencati i principali:

Tabella 8-8 Principali tipi di batterie e pile

Accumulatori al piombo	L'accumulatore al piombo è il più diffuso generatore di energia a base metallica. Tra le circostanze che hanno contribuito alla diffusione di questo sistema elettrochimico, vi sono il costo delle materie prime (piombo, acido solforico, polipropilene) e la facile tecnologia di produzione che utilizza un solo metallo (piombo e sue leghe). Le sue applicazioni spaziano dall'avviamento elettrico di motori a combustione interna (**batterie da avviamento**), alla alimentazione energetica di impianti fissi (**batterie industriali**) e di motori elettrici (**batterie da trazione**).

Accumulatori al Nichel-Cadmio	L'altro sistema elettrochimico che compete col piombo è quello sviluppato nei primi anni del 1900 che utilizza idrossidi di nichel e cadmio. Le doti di miglior energia e potenza specifica, oltre che di durabilità, ne hanno consentito lo sviluppo per l'alimentazione di apparati portatili diffusi in milioni di esemplari (telefoni cellulari, computer, videocamere etc.). Purtroppo, il cadmio presenta problemi di compatibilità ecologica 10 volte maggiori del piombo.
Accumulatori al Litio	Con l'obiettivo di superare i limiti ecologici del cadmio, il sistema con più alto tasso di sviluppo nel campo dei portatili è quello di recente industrializzazione che utilizza litio ed ossidi metallici. La sua produzione è in rapido sviluppo soprattutto in Asia.
Le pile	Le applicazioni a portatili di minor costo (radio, registratori, giocattoli), che non implicano la ricaricabilità, hanno portato a produzioni numericamente enormi di pile. Nella versione più diffusa (le pile alcaline, con l'elettrolita costituito da idrossido di potassio) occupano il 60% del mercato italiano che, in totale, consuma circa 15.000 ton/anno di pile.

In commercio ci sono svariati tipi di batterie:

- **nichel - cadmio** (NiCd), con una tensione nominale di 1.4 Volts (effettiva 1.2 V). Ricaricabili. L'elettrodo positivo al nichel e` dimensionato con una capacita` maggiore di quello negativo al cadmio in modo da sopportare una certa sovraccarica.
- **Ni-MH**, come le precedenti, ma all'elettrodo negativo un **idruro metallico** sustituisce il **cadmio**, col vantaggio di un minor potenziale inquinante, e una maggiore capacita` (fino al 40 % in piu`). Ricaricabili. Utilizzano leghe di terre rare (tipicamente lantanio, batterie di classe AB5) oppure leghe con titanioo zirconio (batterie di classe AB2). L'idrogeno viene adsorbito sul reticolo di tali leghe (che ha struttura prisma a base esagonale). Nuova tecnologia per le batterie che permette una maggiore capacità volumetrica. Sistema originale formato da un elettrodo positivo al nichel e da un elettrodo negativo all'idruro metallico (MH).
- **zinco - carbonio** (ZnC), **zinco** e **biossido di manganese**, con una tensione di 1.5 V: sono le batterie comuni. Hanno l'anodo di zinco e il catodo di biossido di manganese con polvere di carbonio per migliorarne la conducibilita`. In questa categoria, accumuliamo le batterie LeClanche, in cui la soluzione contiene anche **cloruro d'ammonio**, e batterie ZnCl in cui la soluzione contiene essenzialmente solo **cloruro di zinco**. Queste ultime risultano leggermente migliori a basse temperature.
- **alcaline** (Zn/MnO_2). Le batterie alcaline hanno l'anodo di zinco e il catodo di biossido di manganese con matrice di carbone. L'elettrolita e` una soluzione di idrossido di potassio. A circuito aperto la tensione e` di 1.58 V. Si

distinguono dalle precedenti per la soluzione elettrolitica (con **idrossido di potassio**), una maggiore capacita`, e migliori prestazioni.

- **zinco - ossido d'argento** (Zn/Ag_2O). Sono batterie di piccole dimensioni adatte per piccoli strumenti. Hanno una tensione di 1.5 V e una curva di scarica piatta.
- accumulatori al **piombo** (Pb), da 2.2 V (effettiva 2.0 V), quelli che compongono la batteria dell'auto;
- **litio** (Li), con **bisolfito di ferro** FeS_2 oppure **biossido di manganese** MnO_2. Con una tensione di 1.5 o 3 V e una curva di scarica molto piatta. Eccellenti a basse temperature. Non contengono mercurio, cadmio e piombo. Una batteria A-A contiene circa un grammo di litio.

8.9.6 Trattamento pile esauste

Le pile, in genere, non possono essere riciclate o bruciate, vanno raccolte e destinate ad appositi impianti che le rendono inerti. Le batterie sono inquinanti per i metalli pesanti che contengono (**mercurio**, **cromo**, **cadmio**, **piombo** solo alcuni) e per i componenti della soluzione elettrolitica. Vanno depositate negli appositi raccoglitori per batterie esauste.

Le pile vengono raccolte in contenitori, di norma gialli, con capacità di 0,05 mc posti sia su suolo pubblico che presso i rivenditori e le scuole di ogni ordine e grado. I contenitori vengono svuotati una volta al mese.
La raccolta delle pile si effettua anche presso le isole ecologiche.Oggi le pile danno energia a strumenti e apparati usati per lo studio, il lavoro, il tempo libero e le attività domestiche. **In un anno ciascuno di noi getta in media 400 g di pile usate**! Esistono anche le pile specialistiche, al mercurio e miniaturizzate, usate per orologi, fotocamere, apparecchi acustici. Le pile contengono acidi e metalli pesanti (piombo, mercurio, manganese, litio, cadmio), inquinanti per l'ambiente. Queste sostanze non vengono smaltite dall'organismo, passano da una specie all'altra tramite la catena alimentare e, accumulandosi, provocano gravi danni (la dose di mercurio letale per l'uomo é di soli 1,5 g). **Dalle pile esauste possono essere recuperati, coi sistemi più avanzati, materiali utili come metalli pesanti o il lamierino d'acciaio del rivestimento**. I residui del trattamento o le pile non utilizzate per il recupero devono essere **inertizzati**, cioè i materiali tossici devono essere resi innocui, e destinati allo stoccaggio definitivo in una discarica controllata. Sono stati anche messi a punto trattamenti di detossificazione delle pile alcaline esauste, le quali hanno contenuti di mercurio più elevati. Le pile vengono smaltite in impianti specializzati, dove sono rinchiuse in blocchi di cemento per evitare qualsiasi dispersione di sostanze nocive nell'ambiente; oppure vengono incenerite.

Figura 8-24 Comune raccoglitore per pile esauste

Sono allo studio vari metodi per recuperare almeno parte dei metalli pesanti usati nelle pile. Per ora i migliori risultati vengono dal recupero dell'ossido di mercurio contenuto nelle pile a bottone per usi specialistici.

8.9.7 Punto della situazione

Se torniamo alla curva Impatto Ambientale/tempo, diciamo che, ora come ora, possiamo molto migliorare, senza accuse o frustarsi troppo… abbiamo appena cominciato a pensare al problema, caspita!

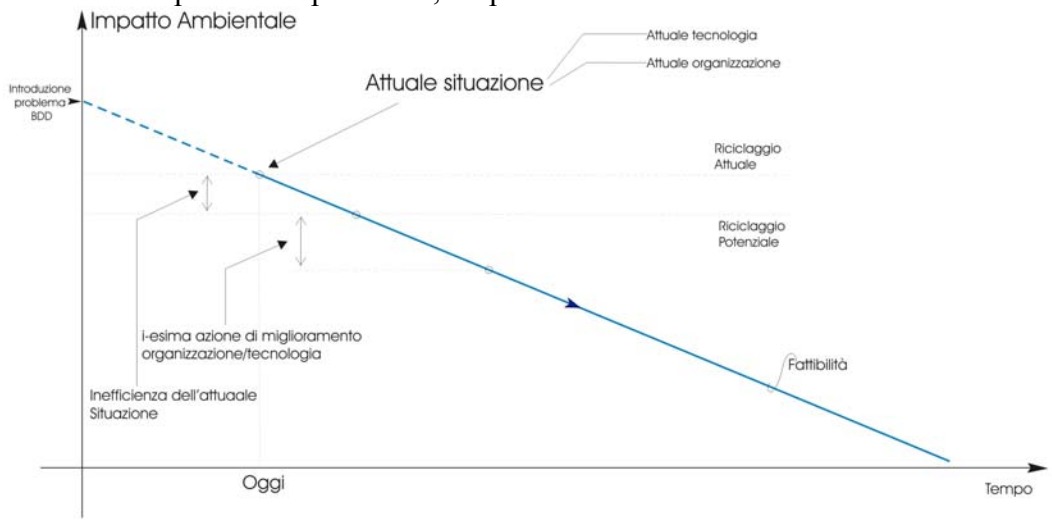


Grafico 8-7 Curva delle "azioni tecnologiche" verso un abbassamento dell'impatto ambientale, nel tempo

Tuttavia, ogni i-esima azione dovuta alla ricerca, alla coscienza, all'informazione, alla tecnologia, all'uso della tecnologia- e ne abbiamo visti - , alla gestione intelligente può farci percorrere una ottimistica curva discendente verso il drastico abbattimento delle conseguenze di un trattamento mostruoso dei nostri congegni/ordigni tecnologici a fine vita.

8.10 Combustione, incenerimento, termovalorizzazione - i rifiuti come fonte di energia rinnovabile

Da molto tempo hanno insistito sullo scenario, in materia di rifiuti, convinti orientamenti culturali i cui obiettivi strategici fondamentali si possono riassumere in azioni di *prevenzione* (diminuzione della quantità e della pericolosità) di *valorizzazione* (recupero di energia e risorse dai rifiuti) e di *corretto smaltimento* (tecnologie compatibili).
La crucialità del problema dei rifiuti è di ordine economico, normativo, tecnico[129] ma anche e soprattutto culturale; una appropriazione culturale forte è necessaria non solo per promuovere una indispensabile coscienza civica ma anche per sostenere lo sviluppo di tecnologie appropriate e a loro volta ambientalmente compatibili.
Gli obiettivi che si devono perseguire nel tempo sono essenzialmente dunque quelli di *migliorare* per quanto possibile *la qualità dei rifiuti riducendo*

[129] Ing. Andrea Cirelli, La termovalorizzazione e la politica impiantistica per un corretto smaltimento, http://www.vasonline.it/forum/inceneritori/cirellli.htm ,2003.

***sensibilmente le sostanze tossico nocive*, di *aumentare la quota destinata al riciclo* e di *favorire la termocombustione*, destinando solo il rimanente allo stoccaggio definitivo in discarica controllata.**

Produzione Energia Elettrica
Oggi l'energia elettrica è prodotta per il 90% da combustibili fossili, il 5% da fonte nucleare e solo il restante 5% da fonti rinnovabili; in Europa le rinnovabili sono il 6% (entro 2020 obiettivo 15%) con punte in Svezia e Austria del 25% (residui forestali e industria legno, sottoprodotti agricoli, residui agroindustriali, colture energetiche e per quanto ci riguarda, appunto, i rifiuti (100 kg di rifiuto urbano tal quale, hanno un contenuto energetico totale equivalente a circa 22 kg di petrolio).

Sul tema specifico della termovalorizzazione, a livello normativo in particolare si cita la recente Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio sull'Incenerimento dei rifiuti 2000/76/CEE che abroga le precedenti 75/442, 89/369, 89/429 e 94/67 e che rappresenta un importante punto di riferimento in materia di tutela ambientale.

Uso della discarica/termovalorizzazione
Va sottolineato che il livello minimo di uso della discarica (20-30%) si raggiunge solo in quei casi in cui la termovalorizzazione è il sistema principale di trattamento (oltre il 70% di tutti i rifiuti).

Il progresso delle conoscenze e delle tecnologie ha consentito nell'ultimo decennio il verificarsi di un vero e proprio mutamento di atteggiamento nel campo dello smaltimento dei rifiuti, con riferimento anche alla loro valorizzazione energetica. È infatti possibile affrontare l'argomento senza più i condizionamenti del passato, consapevoli che le soluzioni disponibili sono sicure, perfettamente definite e sperimentate. La possibilità di ricorrere ad una tecnologia piuttosto che ad un'altra, all'interno di situazioni differenti, nasce proprio da questa piena consapevolezza. La normativa recente (D. Lgs. 5.2.97, n. 22) ha sicuramente favorito il passaggio dal vecchio concetto degli inceneritori alla termovalorizzazione, ovvero alle tecniche di smaltimento che non solo riducono drasticamente il volume dei rifiuti da conferire in discarica, ma - soprattutto - realizzano un recupero energetico.

Da un censimento recente di Federambiente si rileva che, in Italia, vi sono 63 impianti di cui funzionanti 40; purtroppo il recupero energetico non avviene ancora in tutti gli impianti ; l'efficienza energetica di tipo elettrico si stima a 200-300 Kwh/tonn.

Qui parleremo di termovalorizzazione innanzitutto perché è una delle grandi direzioni che il rifiuto Hi-Tech dovrà obbligatoriamente prendere, e quando si dice obbligatoriamente ci si riferisce senz'altro alla Legge della Natura,

piuttosto che a quella dell'uomo; poi perché il problema e l'impiantistica sono stati affrontati già da anni, quantunque nel campo dei RSU.
Parlare di termovalorizzazione di RSU e di BD Hi-Tech è corretto?
Sì.
Sì perché i RSU contengono una varietà di componenti impressionante, si può dire totale, completa; sì perché gli impianti di termovalorizzazione esistenti sono rivolti ai RSU ed ai rifiuti sanitari, e non ad altri tipi; sì poiché il rifiuto Hi-Tech, a valle del suo trattamento specifico, una volta non più utilizzabile e riutilizzabile, finirà, come "combustibile", sicuramente laddove finiscono i "cugini" a cui ci si è riferiti.
Faremo riferimento, dunque, agli impianti esistenti, anche se si parlerà di rifiuti in generale, giacchè le sostanze immesse nei forni raggiungono una varietà che contiene certo quella degli Hi-Tech.

8.10.1 Storia

Nella nostra Nazione la percentuale di rifiuti avviati a **termovalorizzazione** è ancora oggi irrisoria. Furono i timori che si generarono con l'incidente di Seveso a frenare bruscamente lo sviluppo della termodistruzione, verso la fine degli anni '70. E' con l'inizio degli anni '8O che si è affermata l'esigenza di rimuovere per via chimica gli inquinanti presenti nei fumi degli inceneritori, come gas acidi (HCl, HF) e gli SOx insieme ad un più efficace abbattimento delle polveri. Per queste ultime si è passati dall'utilizzo di cicloni e multicicloni con rendimenti massimi di captazione rispettivamente del 70% e dell'85%, ai filtri elettrostatici o filtri a maniche. Contemporaneamente si sono attuate misure di contenimento preventivo delle emissioni, ottimizzando le caratteristiche costruttive dei forni e migliorando il processo di combustione (temperature più alte di combustione, maggiori tempi di permanenza in regime di alte turbolenze, eccessi d'aria tali da garantire la presenza di sufficiente O_2 per l'ossidazione completa dei prodotti della combustione, ecc.).
Lo sviluppo poi di sempre più sofisticati metodi di campionamento ed analisi degli inquinanti nei fumi ha condotto alla scoperta della presenza di significative concentrazioni di metalli pesanti tossici come il mercurio, il cadmio e di microinquinanti organo clorurati come le diossine e i furani.
Ne è conseguita l'emanazione di norme più severe volte al contenimento delle emissioni.
Parallelamente, lo sviluppo tecnologico attuato dalle aziende del settore negli ultimi anni ha condotto all'affermarsi nel mercato di sistemi di depurazione fumi del tipo a multistadi che, nel caso di molti inquinanti, permettono di raggiungere valori di concentrazione delle ernissioni al limite della misurabilita`.

8.10.2 Combustione e incenerimento

Si possono in grande sintesi classificare le varie tecnologie di incenerimento secondo le seguenti categorie:

- **forni a griglia, a tamburo rotante, a letto fluido,**
- **sistemi di pirolisi e gassificazione,**

- **sistemi al plasma.**

*Sotto l'aspetto tecnico l'**incenerimento** identifica un processo di smaltimento di rifiuti finalizzato alla distruzione di tutte le frazioni combustibili, con conseguente riduzione in massa e volume*. La sua efficacia è misurata in termini di **distruzione e rimozione delle sostanze inquinanti**.

*La **combustione,** invece, è un processo finalizzato alla massima produzione di energia termica e/o elettrica tramite l'impiego di combustibili fossili*; la sua efficacia è misurata in termini di *efficienza di combustione*.

8.10.3 Il problema

Il recupero di energia da rifiuti abbina gli obiettivi dell'incenerimento con quelli propri della combustione utilizzando combustibili non convenzionali costituiti da rifiuti o da frazioni da essi derivate. Recuperando energia termica si "valorizza" il rifiuto, sostituendo potenziali vantaggi (in termini di risparmio energetico e di emissioni evitate) a dei rischi certi, legati allo spreco di risorse ed alla dispersione nell'ambiente, quali quelli che caratterizzano lo smaltimento dei rifiuti in discarica. Il problema centrale è quello del controllo delle varie fasi del funzionamento di un inceneritore in maniera da mantenere basse le emissioni; qui di seguito sono riportate alcune indicazioni pratiche da attuare per la riduzione delle stesse:

· Eliminare dall'alimentazione quei rifiuti che generano inquinanti pericolosi e/o costituiscono un mezzo di propagazione di inquinanti; in particolare vanno eliminati i metalli che provocano particolato (batterie e accumulatori)
· Mantenere per quanto più è possibile un'alimentazione costante in termini di massa e di potere calorifico, in quanto le fermate e le partenze sono delle situazioni in cui risulta più difficile mantenere sotto controllo i sistemi di limitazione della formazione di inquinanti
· Ottimizzare il funzionamento del forno in termini di temperatura, concentrazione di ossigeno e produzione di ossido di carbonio; controllando l'iniezione di ossigeno, la direzione ed il punto di immissione, il funzionamento dei bruciatori ausiliari
· Eseguire dei controlli periodici programmati delle varie apparecchiature mediante un protocollo condiviso in maniera da assicurare una maggiore efficienza dello stato delle varie macchine
· Adottare dei sistemi di controllo degli NOx, sia nella camera di combustione con iniezioni nei punti più caldi di sostanze riducenti (ammoniaca) che a valle (convertitori catalitici)
· Ottimizzare l'uso del carbone attivo per l'adsorbimento di diossine e mercurio dai fumi; verificare e controllare i punti di immissione del carbone e la qualita` di questo
· Verificare che il voltaggio di lavoro dei filtri elettrostatici e le pressione dei filtri a maniche siano sempre in un range tale da ottimizzare l'efficienza delle macchine
· Verificare di avere una portata di gas tale da assicurare un adeguato tempo di

permanenza nella camera di combustione e nelle varie parti del sistema di trattamento fumi
· Verificare che la velocita` di raffreddamento dei fumi nel campo (400-300) ºC sia sufficientemente veloce al fine di limitare la formazione di diossine
· Verificare che la manipolazione delle ceneri di fondo ed in particolare le ceneri volanti, siano sempre eseguite in condizione da evitare l'inquinamento per "dispersione' di inquinanti (mantenere sotto vuoto i comparti)
· Implementare costantemente la formazione e la certificazione degli addetti alle varie fasi dell'impianto, mantenendo un costante programma di addestramento e formazione del personale
· Predisporre un controllo periodico e sistematico per la calibrazione e verifica delle apparecchiature di controllo e misura da parte di un ente esterno qualificato
· Promuovere studi e ricerche su tutte le parti che costituiscono l'impianto, in maniera da incoraggiare lo sviluppo e l'adozione di nuovi sistemi di misura e controllo (impianto aperto)
· Progettare e predisporre una rete di monitoraggio ambientale degli elementi più sensibili a varie distanze dall'impianto
· Prevedere un telesistema di trasmissione dati (funzionamento, emissione e controlli) da renderli il più accessibili possibile

Occorrerà inoltre evitare di imporre o privilegiare schemi rigidi di gestione o particolari soluzioni tecnologiche, lasciando che sia il mercato, all'interno di un contesto caratterizzato da vincoli più flessibili ma continuamente monitorati, ad adattarsi alle esigenze mutevoli della domanda ed alla volatilità dei prezzi di materie prime ed energia. Quanto sopra esposto evidenzia come le tecnologie attualmente disponibili permettono di raggiungere limiti di emissione minimi nel pieno rispetto delle norme più restrittive.
Il problema non è quindi la tecnologia, ma i limiti a cui ci si vuole spingere e la configurazione impiantistica da adottare, la quale deve essere anche compatibile con le risorse finanziarie disponibili.

L'obiettivo
La strada maestra è l'individuazione di impianti di termoutilizzazione con recupero di energia, a servizio di significativi bacini di produzione, inseriti organicamente in un sistema di gestione dove si realizzino le raccolte differenziate e le discariche diventino così elemento residuale. Per quanto concerne la sostenibilità economica (altro elemento fondamentale), sarà necessario prevedere incentivi legati al prezzo di cessione dell'energia elettrica immessa sulla rete rivedendone, eventualmente, modalità ed entità al fine di premiare i sistemi e le tecnologie più efficaci e più efficienti.

I costi
I prezzi di smaltimento in impianti di termovalorizzazione variano in funzione della gestione degli impianti. Il costo di trattamento finale nel bruciatore dedicato

può variare da 0,07 euro/kg fino a 0,14 euro/kg. Questi costi non comprendono i costi di smaltimento del CDR e del compost (FOS) (Fonte Enea) e comunque vanno verificati situazione per situazione. Si tratta comunque di costi di gestione assolutamente compatibili e concorrenziali con impianti di interramento controllato che siano fatti nel rispetto delle norme e dell'ambiente.
Per quanto attiene gli investimenti necessari a livello nazionale , nell'ipotesi di massimizzare l'incenerimento, occorrerebbero almeno 3.000 milioni di Euro a cui comunque aggiungerne altri 2 MLD per sviluppare la produzione di CDR e adeguare gli impianti industriali.

Bisogna attivare una partecipazione reale alle iniziative di raccolta differenziata, di risparmio energetico, di uso razionale delle risorse; abituare i cittadini ad interloquire con le strutture e con gli operatori che erogano servizi; educare i più giovani al rispetto per l'ambiente, alla conoscenza delle diverse problematiche, ad un uso corretto delle risorse ambientali; favorire una conoscenza delle tecnologie e degli impianti al fine di cancellare immotivate paure e di valutare con cognizione i diversi processi; passare dal concetto, il più delle volte liturgico, di educazione ambientale alla cultura del benessere, della qualità della vita, della città accogliente, dei servizi efficienti e trasparenti.

Dove deve arrivare l'Italia

L'Italia ha la necessità di allinearsi alla media dei paesi dell'Unione Europea in merito all'utilizzo della termovalorizzazione dei rifiuti come valida forma di recupero alternativa alla discarica. Ciò significa arrivare almeno all'obiettivo del 20%, partendo dall'attuale 7% (quota di incenerimento con e senza recupero energetico). Se l'Italia si portasse al livello delle principali nazioni dell'Unione Europea, ove la percentuale di RSU termotrattata si attesta intorno al 30% della produzione complessiva (Danimarca 65%, Francia 42,3%, Germania 40%, Svezia 55%), l'energia ricavabile sarebbe sufficiente a coprire circa il 10% dei consumi di energia delle famiglie italiane.

La termovalorizzazione dei rifiuti è oggi una forma di recupero sicura e vantaggiosa in termini ambientali. Come tale essa viene considerata fondamentale nell'ambito delle strategie integrate di gestione dei rifiuti solidi urbani in tutti i Paesi industrializzati. Il futuro ormai imminente della termovalorizzazione è nell'impiego di tecnologie innovative e con impatti ambientali sempre minori.

8.10.4 Il ruolo della termovalorizzazione

La **termovalorizzazione**, correttamente inserita nell'ambito di una strategia integrata di gestione volta alla massima valorizzazione del rifiuto, presenta una serie di

vantaggi ambientalmente ed economicamente significativi. Essa consente innanzitutto una significativa riduzione del ricorso alla discarica: la produzione di scorie e ceneri corrisponde a meno del 10% del volume dei rifiuti trattati. Negli impianti di termovalorizzazione il contenuto termico dei rifiuti viene inoltre completamente recuperato, tranne la parte che si disperde attraverso i fumi, i dispositivi di raffreddamento, le pareti dell'impianto e le scorie.
Attraverso il recupero energetico, i rifiuti possono, insomma, essere considerati una fonte rinnovabile di energia (come peraltro affermato dalle leggi 9 e 10 del 1991 sul risparmio energetico). Questa fonte viene chiamata CDR: Combustibile Derivato dai Rifiuti. L'energia recuperata dai rifiuti mediante termovalorizzazione viene in parte utilizzata per il funzionamento stesso dell'impianto (a copertura del 50-60% dei costi di esercizio) e in parte immessa nella rete elettrica nazionale oppure consumata sul territorio dove è sito l'impianto (ad esempio, per riscaldare scuole ed edifici pubblici).
Il potere calorifico di questi CDR col tempo è cresciuto essendo H_i arrivato a circa 2000 Kcal/Kg e cioè circa ½ di quello del legno - ≅ 3420 Kcal/*Kg - ed ¼ di quello del gasolio per autotrazione – ≅10320 Kcal/kg – .

In un impianto di termovalorizzazione si hanno 3 tipi di recupero:

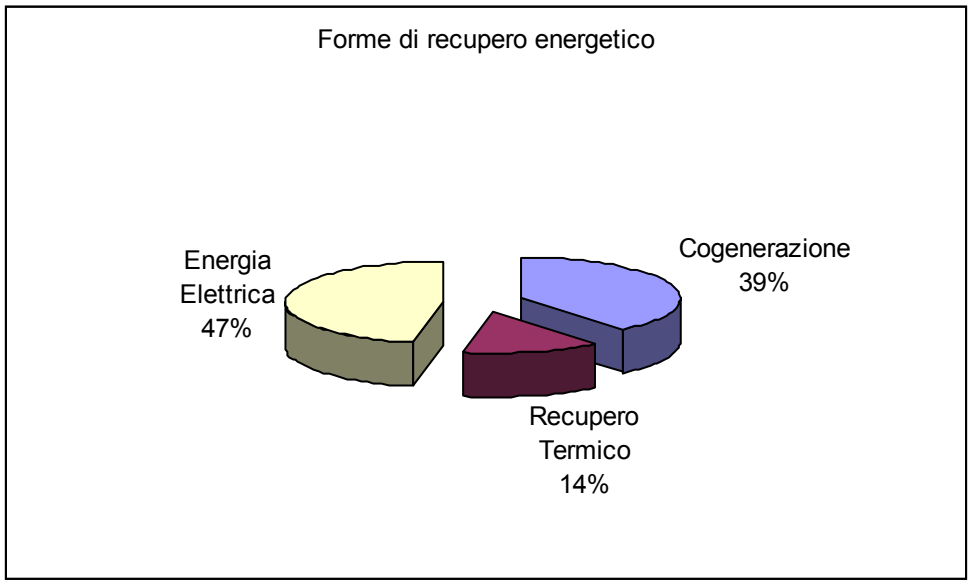


Grafico 8-8 Distribuzione percentuale delle forme di recupero energetico

Perché questa distribuzione?
Semplice: per fare energia elettrica basta una turbina, il recupero termico implica una rete di teleriscaldamento.
Una nota importante per le emissioni finali, che analizzeremo di seguito: le concentrazioni di alcune sostanze, come Cu, Cl, Metalli Pesanti ed altre, nei CDR devono rispettare certi limiti.

8.10.5 La situazione impiantistica

Gli impianti esistenti in Italia dotati di recupero energetico sono 38 (di cui 18 operativi e 12 in ristrutturazione) quasi tutti votati alla produzione diretta di energia elettrica.
Da una indagine condotta dall'ENEA nel 1994 risulta che al 31.12.94, dalla combustione di 2.197.440 t. di rifiuti, erano stati ricavati 446.566 Mwh elettrici, corrispondenti a circa lo 0,2% dell'energia elettrica totale consumata in Italia.
La distanza che ci separa dal resto dell'Europa potrà essere comunque ridotta tra non molto: gli impianti attualmente in fase di realizzazione dovrebbero infatti portare, nel giro di pochi anni, la capacità di trattamento complessiva di Rifiuti, compresi i RSU, a circa 6 milioni di tonnellate l'anno, pari a circa il 25% del totale dei rifiuti prodotti.
C'è stato, poi, un sostanziale aumento dei rifiuti da imballaggio (ormai il 40% del totale). In particolare, la forte presenza di materiali da imballaggio quali plastica, carta e cartone - caratterizzati da un elevato contenuto energetico – ha fatto progressivamente aumentare il potere calorifico complessivo dei rifiuti.

8.10.5.1 Potere calorifico

Il potere calorifico dei rifiuti IN GENERALE (ci atteniamo ai dati che conosciamo) si aggira oggi mediamente sulle 2.000 - 2.200 Kcal/Kg. Quando il rifiuto è preselezionato, quando cioé viene sottratta la sostanza organica (che viene avviata a compostaggio), il potere calorifico sale ad oltre 3.000 Kcal/Kg.

Tabella 8-9 - Potere calorifico dei rifiuti e di altri combustibili

COMBUSTIBILE	POTERE CALORIFICO (kcal/kg.)
RSU	2.000 - 2.500
RDF	3.000 - 5.000
Legno	3.000 - 3.500
Lignite	2.600 - 3.000
Gas di città	3.600
Gas naturale	7.700
Carbone	6.000-7.800

8.10.5.2 L'Impianto

Nei processi di termovalorizzazione il materiale di alimentazione è preparato in appositi impianti in cui viene vagliato, selezionato, triturato, omogeneizzato e ridotto sotto forma di cilindretti a basso contenuto di umidità o in forma "coriandolata".

Un impianto di termovalorizzazione è sostanzialmente costituito da un forno, da una camera di post-combustione, da una caldaia per il recupero del calore generato dalla combustione e da sistemi per l'abbattimento delle emissioni.
All'interno del forno la combustione avviene, a temperature superiori a 1000°C, in tre fasi:

- essiccamento del prodotto e precombustione
- combustione delle sostanze volatili
- combustione dei residui solidi e loro trasformazione in scorie

La combustione attuata con queste caratteristiche consente già di per sé la distruzione delle sostanze tossiche sprigionatesi durante il processo, con una efficienza che è pari o superiore al 99,9%, fugando ogni possibile dubbio in tema di sicurezza per le popolazioni.

I fumi prodotti vengono trasferiti in una camera di post-combustione per completare i processi di combustione, condizione indispensabile a garantire l'assenza di composti organici nei fumi in uscita dall'impianto. Attraversata la camera di post-combustione si svolge la fase cruciale del ciclo energetico: i fumi entrano nella caldaia, dove cedono il proprio calore trasformando acqua in vapore. L'energia contenuta nel vapore può essere utilizzata come energia termica, ovvero energia elettrica impiegabile anche per autoalimentare l'impianto.

All'uscita dalla caldaia i fumi raffreddati vengono immessi nel circuito dei diversi sistemi di depurazione che consentono l'abbattimento delle diverse tipologie di sostanze inquinanti. Dalla combustione dei rifiuti alla fine restano - come residui - scorie che rappresentano il 10-12% in volume ed il 15-20% in peso dei rifiuti stessi e ceneri pari al 5%. Le scorie vengono avviate in discarica oppure (se opportunamente inertizzate) utilizzate in alcuni Paesi come materiale per fondi stradali ed altri usi civili.

Vediamo come funziona un tipico impianto moderno di **termovalorizzazione**, realizzato sulla base delle prescrizioni normative in materia di sicurezza e controllo delle emissioni. L'impianto è sostanzialmente costituito da **un forno**, da **una camera di post-combustione**, da **una caldaia per il recupero del calore generato** dalla combustione e da sistemi per l'abbattimento delle emissioni.

Combustione

All'interno del forno, la combustione dei rifiuti avviene ad una temperatura che raggiunge normalmente i 1000°C negli impianti moderni. La normativa italiana prevede che la temperatura minima di combustione, per un tenore in cloro inferiore al 2%, debba essere non inferiore ai 950°C. Per un tenore in cloro >2%, la temperatura minima deve essere di 1.200°C. Il processo avviene in tre fasi: essiccamento del prodotto e precombustione; combustione delle sostanze volatili; combustione dei residui solidi e loro trasformazione in scorie. La combustione attuata con queste caratteristiche consente già di per sé la distruzione delle sostanze tossiche sprigionatesi durante il processo, con una efficienza che - come prescritto dalla legge - è pari o superiore al 99,9% .

Quando si bruciano rifiuti si hanno variazioni di Hi che possono far calare la T di combustione. Per questo, una delle prescrizioni normative è quella di avere dei

bruciatori post camera di combustione che portino su di nuovo la T; tali bruciatori usano combustibili tradizionali.

Post-combustione

I fumi prodotti dal processo di combustione vengono trasferiti in una camera di post-combustione che ha lo scopo di completare i processi di combustione, condizione indispensabile per garantire l'assenza di composti organici nei fumi in uscita dall'impianto. La normativa stabilisce i parametri-limite, per rifiuti con tenore in cloro <2%, relativamente al tenore di ossigeno libero (almeno il 6% in volume), alla temperatura dei fumi (non inferiore ai 950°C), alla velocità dei fumi (non inferiore ai 10 m/sec) e al tempo medio di permanenza dei fumi nella camera (almeno 2 secondi). Il livello di questi parametri deve inoltre essere per legge rilevato e registrato in continuo mediante appositi sistemi di monitoraggio.

Note: in combustione rifiuti bisogna tenere la T più possibile costante e sopra un certo limite (ad esempio per evitare lo sprigionamento delle diossine, che si generano solo a certe condizioni termodinamiche); devono esser presenti, di norma, dei postcombustori che rialzino la T e brucino il restante
1) perché, durante la combustione dei rifiuti ho delle variazioni di Hi che possono far calare la T,
2) per bruciare l'incombusto,
3) per avere, in uscita T e P >> e migliorare il η delle turbine.
I postbruciatori sono alimentati, di norma, da combustibili tradizionali.

Recupero energetico

Attraversata la camera di post-combustione, i fumi entrano nella caldaia, dove cedono il proprio calore, che può essere convertito in energia termica, cioè vapore da impiegare per usi civili (teleriscaldamento) o industriali, oppure (mediante impiego del vapore per l'azionamento di un gruppo turbina-alternatore) in energia elettrica per l'autoconsumo e da inviare alla rete elettrica nazionale.

Trattamento dei fumi

All'uscita dalla caldaia di recupero, i fumi, raffreddati, vengono immessi nel circuito dei diversi sistemi di depurazione, che consentono l'abbattimento in successione continua, delle diverse tipologie di sostanze inquinanti.

Scorie e residui

Dalla combustione dei rifiuti indifferenziati restano, come residui, scorie che rappresentano il 10-12% in volume ed il 20-25% in peso dei rifiuti stessi, (percentuale che scende al 15% nel caso in cui le frazioni secche siano preselezionate) e ceneri pari al 5%. Le scorie vengono avviate in discarica. Sono in corso degli studi per il loro impiego come fondi stradali, previa lisciviazione e detossificazione.

Schema di un impianto di termoutilizzo

Si cerca di dividere l'impianto in sezioni omogenee per semplificare il dimensionamento :

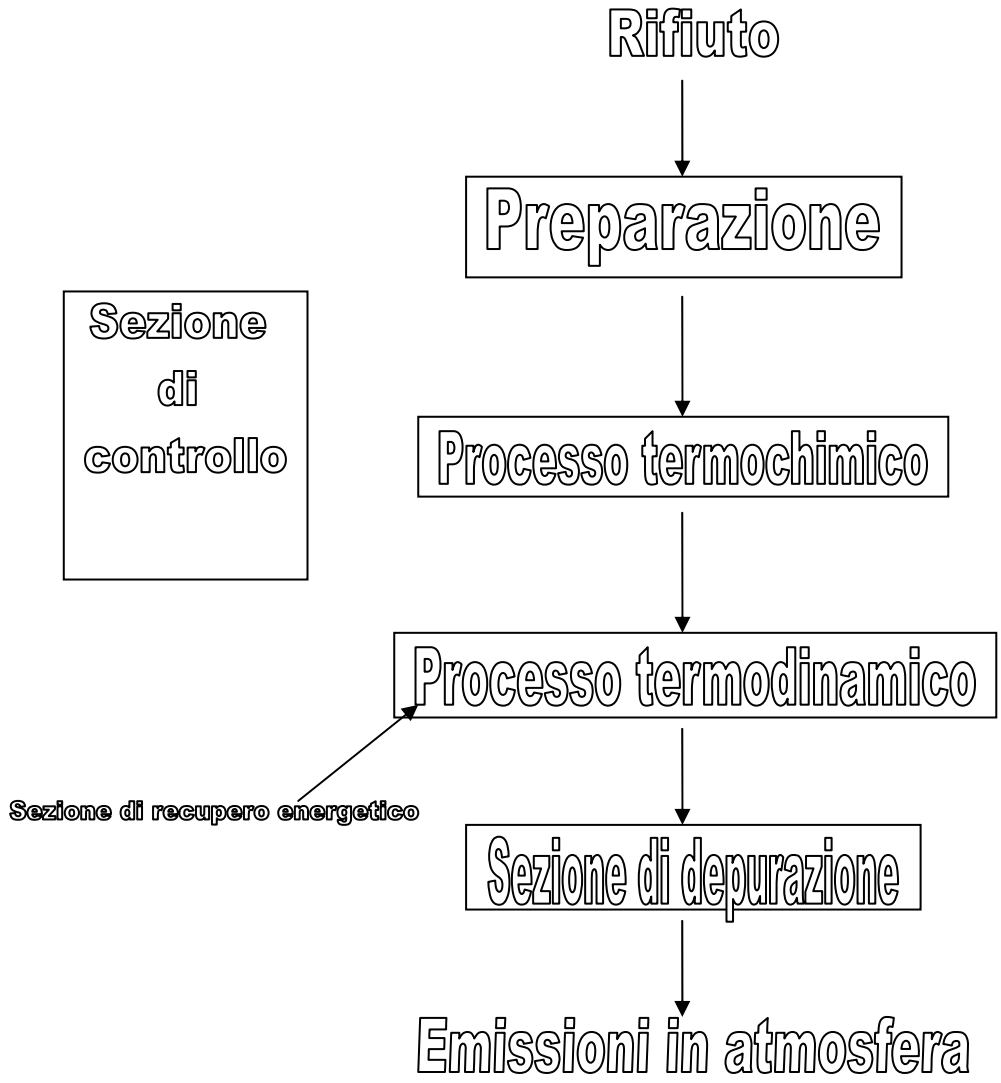


Diagramma 8-6 Flusso di un impianto di termoutilizzo

E' meglio dividere in sezioni anche per avere uniformità di definizione delle rese energetiche.

Questi impianti funzionano, nella maggior parte dei casi, 24h/24h + 7giorni/7giorni perché:

- la taglia si riduce notevolmente
- se accendo e spengo ho dei transitori e degli shock termici
- se non tengo l'impianto sempre in funzione ho un'usura > ed un inquinamento>
- " " " mi diminuisce la potenzialità oraria

Tipi di processo termochimico

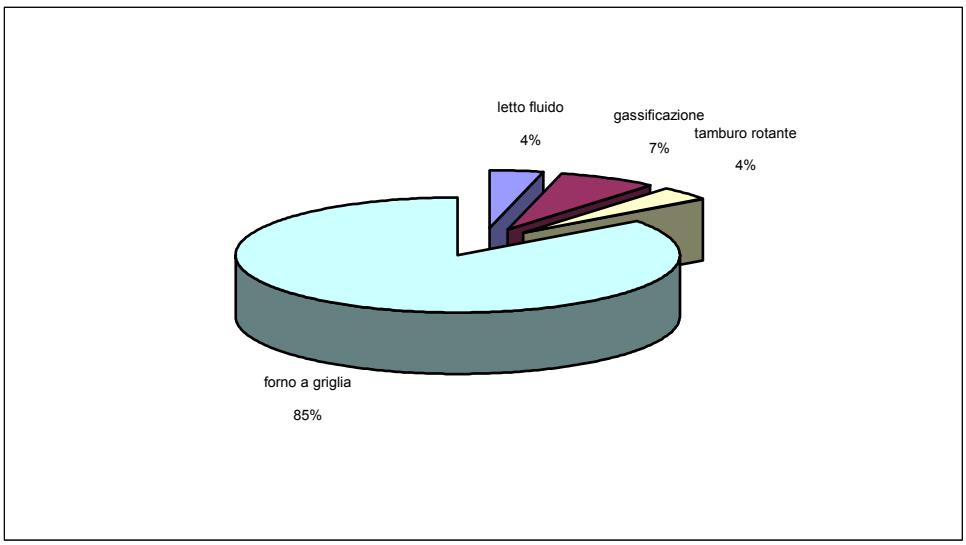


Grafico 8-9 Distribuzione percentuale per tipo di processo termochimico

Tipologie di forni:
i forni per la combustione di RSU, RU o altri rifiuti derivati come potrebbero essere gli *scarti dei RAEE*, sono derivati da analoghe installazioni per combustibili solidi, come il carbone.

Forno a griglia: griglie su cui i rifiuti si bruciano su livelli differenti mosse da pistoni alternativamente. Per bruciare i rifiuti serve un enorme eccesso d'aria, inoltre i rifiuti bruciano in superficie: allora si hanno immissioni d'aria importanti e movimenti alternativi che "rivoltano i rifiuti"

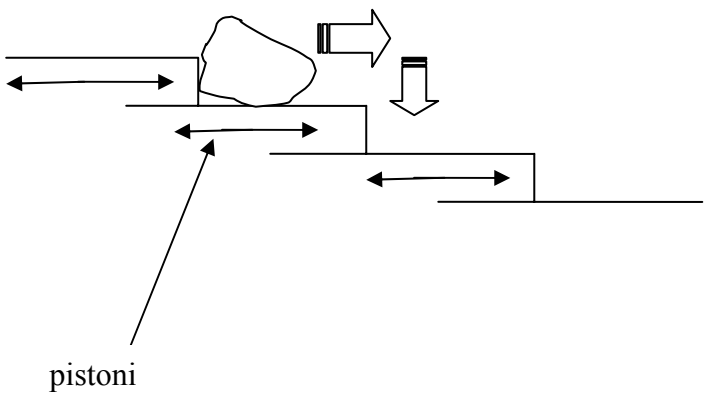


Figura 8-25 Figura schematica del funzionamento di un forno a griglia

Letto fluido: cilindro refrattario; una volta innescata la combustione, dal fondo si inietta aria + inerte, che funge da volano termico e la T si mantiene stabile. L'impianto potrebbe necessitare di un bruciatore ausiliario, di una entrata di aria secondaria o di un letto ricircolante. Sono più efficienti, meno sperimentale, meglio per rifiuti protrattati (combustibile derivato da rifiuti (CDR)).

Tamburo rotante: i rifiuti bruciano in un tamburo rotante, che li rigira in modo continuo, sempre perché, data la loro eterogeneità sia chimica che fisica, i rifiuti hanno bisogno di essere più mossi possibile. Di solito si ha anche una camera di post-combustione.

Gassificazione: combustione parziale, in atmosfera riducente, cioè con O_2 sottostechiometrico → si producono gas ancora combustibili che si finiscono di bruciare poi.

8.10.5.3 Cogenerazione

La cogenerazione[130] è la produzione combinata di elettricità e calore. Un impianto convenzionale di produzione di energia elettrica ha una efficienza di circa il 35%, mentre il restante 65% viene disperso sotto forma di calore; con un impianto di cogenerazione, invece, il calore prodotto dalla combustione non viene disperso, ma recuperato per altri usi. In questo modo la cogenerazione raggiunge una efficienza superiore al 90% e questo permette di:

- risparmiare energia primaria

- salvaguardare l'ambiente

- diminuire le emissioni di CO_2

[130] Si è sfruttato il contributo di http://www.cogena.it/cos_e_la_cogenerazione.htm .

- diminuire i costi

- creare nuovi posti di lavoro

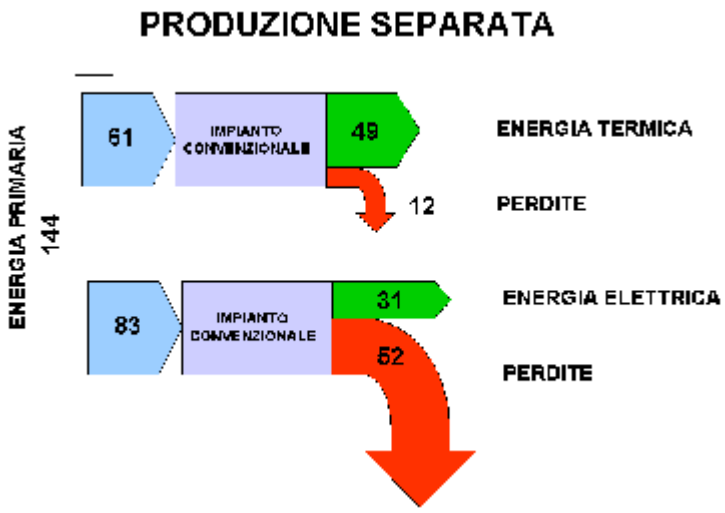


Grafico 8-10 Flusso energetico in un impianto convenzionale

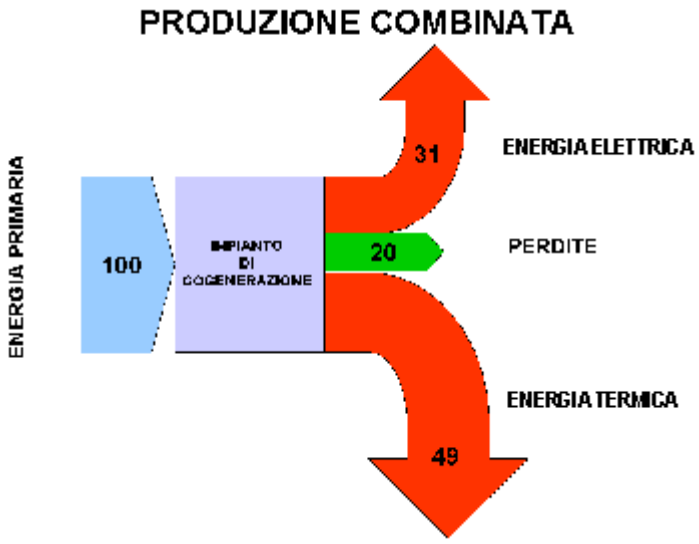


Grafico 8-11 Flusso energetico in un impianto a cogenerazione

Infatti, in una centrale di cogenerazione il calore di scarico della macchina per la produzione di energia elettrica ha livelli termici elevati e di conseguenza può essere riutilizzato per la produzione di acqua calda, vapore (teleriscaldamento, utilizzi in processi industriali, ecc.), direttamente (fumi utilizzati per l'essiccamento), oppure per produrre una ulteriore quota di energia elettrica (ciclo combinato). Non ci sono dubbi sui vantaggi, in termini di rendimento energetico, che la cogenerazione ha rispetto alla produzione separata di energia elettrica e termica. Tuttavia, proprio

perché questi vantaggi sono originati da una produzione combinata, è necessario che l'energia termica disponibile possa essere utilizzata nel ciclo produttivo dello stabilimento in cui essa si colloca. Ciò comporta la localizzazione degli impianti di cogenerazione in prossimità delle aree produttive senza la penalizzazione delle perdite di trasporto dell'energia elettrica in rete, ponendo però dei limiti alle dimensioni delle macchine utilizzate in quanto l'energia termica non può essere trasportata a grandi distanze in modo economico.
Tra i sistemi di cogenerazione si classificano, oltre ai MCI, anche le turbine a gas, i cui gas di scarico in gran volume e ad alta temperatura producono il calore richiesto in una caldaia a recupero, oppure vengono utilizzati direttamente in processo, come ad esempio nei processi di essiccamento; turbine a vapore a contropressione alimentate con vapore surriscaldato, che dopo aver attraversato la turbina producendo energia elettrica viene scaricato a bassa pressione per alimentare le utenze termiche; a questi va aggiunto il ciclo combinato in cui con lo scarico delle turbine a gas viene prodotto vapore, che a sua volta può azionare una turbina a vapore. Solitamente i combustibili utilizzati nella cogenerazione sono idrocarburi liquidi o gassosi. L'impiego di idrocarburi gassosi come il metano, che non ha cloro e non sviluppa diossine, è attualmente preferito per diverse ragioni, tra le quali il moderato costo e il minor impatto ambientale. Le turbine a vapore possono anche essere azionate con vapore prodotto dalla combustione di combustibili più economici come il carbone, la nafta ad alto tenore di zolfo, **i rifiuti** solidi, i cascami di produzione, etc. .

Riepilogando: mediante processi di termodistruzione si trattano rifiuti e/o prodotti derivati tramite processi di conversione termica, e questo comporta

- La trasformazione in sottoprodotti con minori implicazioni ambientali
- Possibilità di recupero energetico
- Riduzione in volume e peso

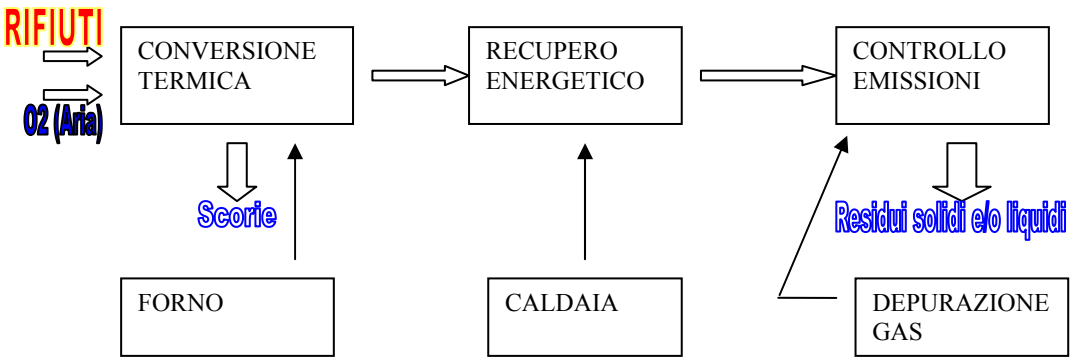


Diagramma 8-7 Schematizzazione della termodistruzione

8.10.5.4 Forme di recupero energetico

Recupero energetico con espansione totale: sola energia elettrica

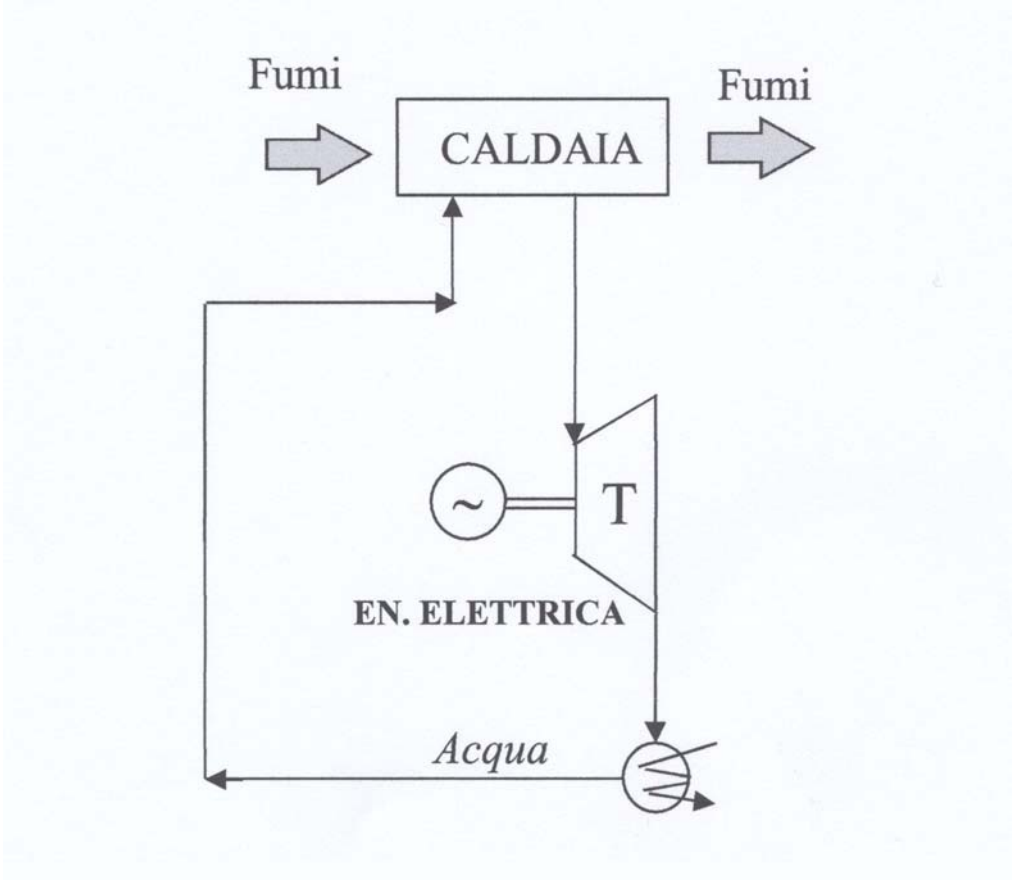


Diagramma 8-8 Diagramma termodinamico del recupero energetico con espansione totale in turbina

All'uscita della camera di combustione i fumi sono raffreddati con produzione di vapore surriscaldato in caldaia. In una turbina a condensazione il vapore si espanderà totalmente.

Recupero energetico con cogenerazione: energia elettrica + calore

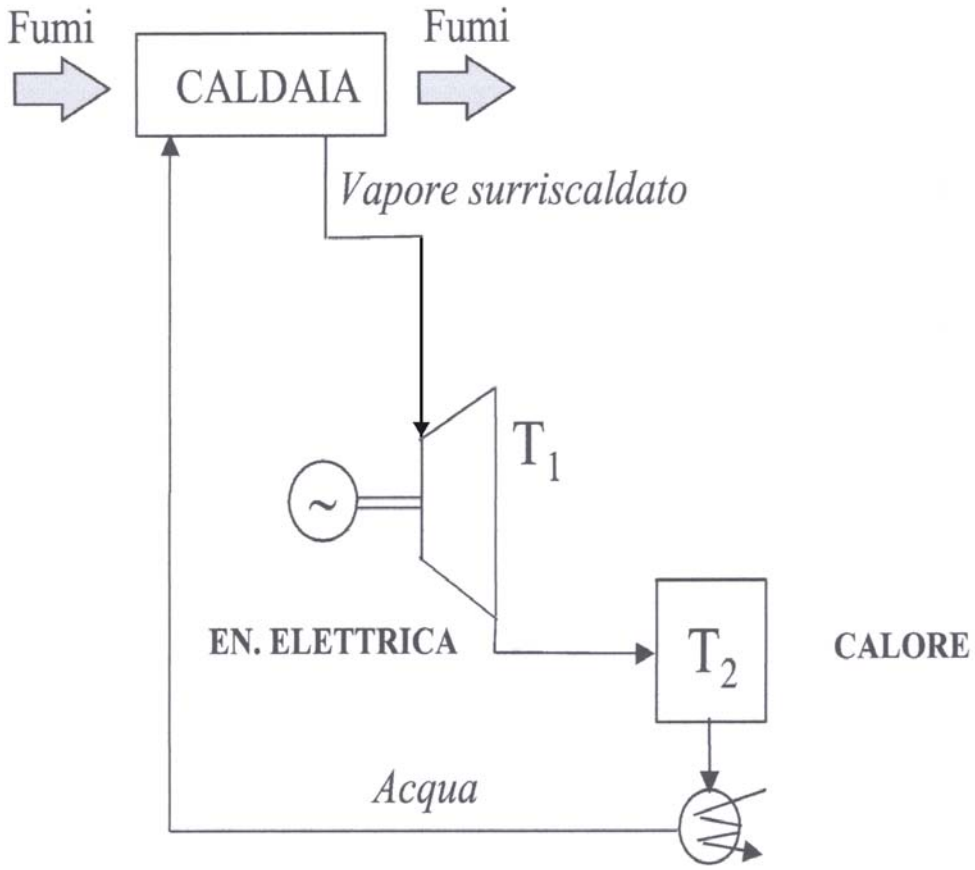


Diagramma 8-9 Diagramma termodinamico del recupero energetico con cogenerazione

All'uscita della camera di combustione i fumi saranno raffreddati e si produrrà, come prima, vapore surriscaldato in caldaia; una turbina provvederà all'espansione parziale del vapore, quindi si avrà una cogenerazione in turbina in contropressione ed una utilizzazione, come calore, del vapore fino a condensazione.

Recupero energetico con teleriscaldamento

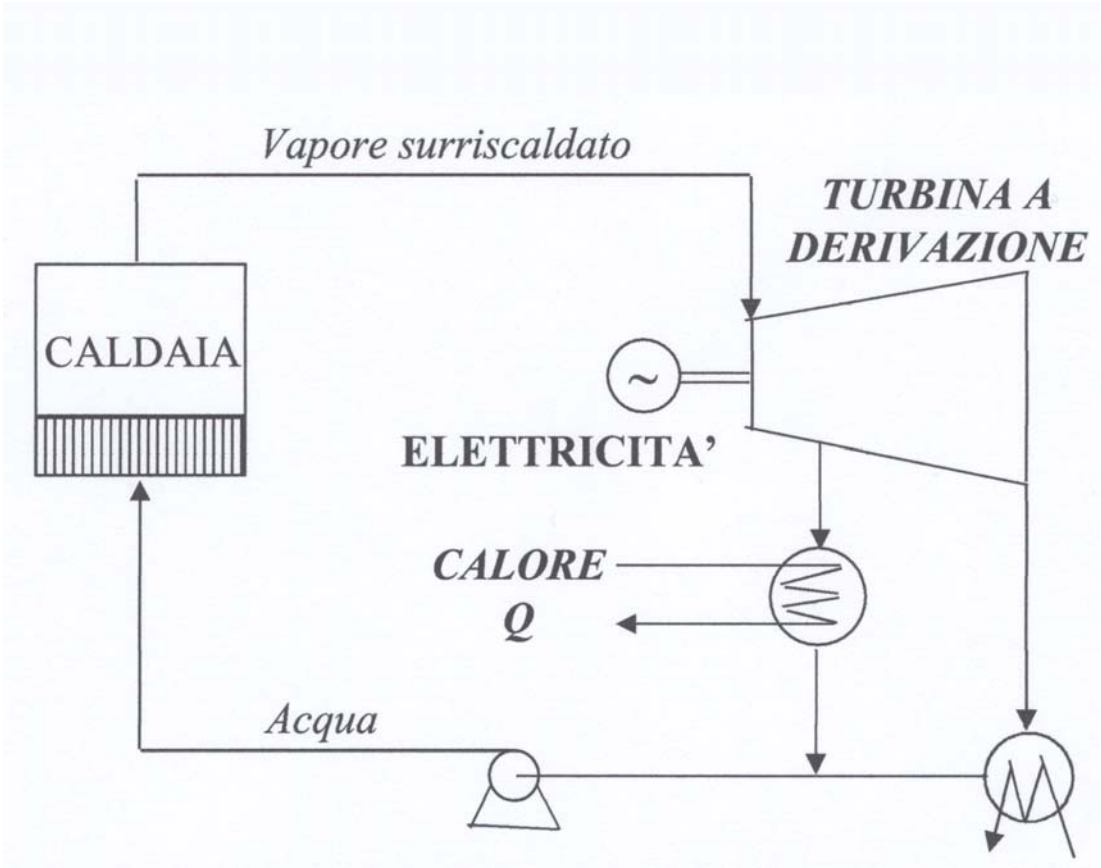


Diagramma 8-10 Diagramma termodinamico del recupero energetico con teleriscaldamento

All'uscita della camera di combustione i fumi saranno raffreddati e si produrrà, come prima, vapore surriscaldato in caldaia; di qui una turbina provvederà ad una espansione totale (turbina a condensazione) o parziale (cogenerazione in turbina a derivazione e condensazione) del vapore prodotto. I rendimenti saranno dipendenti dalla richiesta termica Q ed una modularità nell'utilizzo del calore darà una certa flessibilità al sistema.

8.10.5.5 Apporto del contenuto energetico dei rifiuti

Il contenuto energetico dei rifiuti è estremamente importante ai fini sia dell'efficienza di esercizio degli impianti di termovalorizzazione, sia del rendimento in termini di energia prodotta. Quando il potere calorifico dei rifiuti è inferiore a 1.200 Kcal/Kg. la combustione risulta difficoltosa e diviene necessario adottare accorgimenti particolari tra i quali l'aumento della quantità di aria immessa, operazione delicata in quanto rischia di ridurre la temperatura di combustione ed accrescere il volume dei fumi da raffreddare, depurare ed evacuare in atmosfera, con inevitabili perdite di rendimento. In secondo luogo, il contenuto calorifico dei rifiuti determina il rendimento energetico dell'impianto di termovalorizzazione. Dalla termodistribuzione di una tonnellata di RSU, ad esempio, con potere calorifico medio, si possono produrre dalle 2,5 alle 3 tonnellate di vapore oppure 500-600 KWh

di energia elettrica. Il PVC è presente in maniera modesta negli RSU (0,5 - 0,7%), ma è la componente più comune dei beni durevoli con un ciclo di vita molto lungo.
Il PVC ha un potere calorifico significativo, ovvero dello stesso ordine di grandezza di quello del legno e superiore a quello della carta.

8.10.5.6 Problemi: formazione di diossine dalla combustione

Le diossine
Il termine generico "diossine" si riferisce ad una famiglia di composti organici clorurati, le policlorodibenzodiossine (PCDD), alla quale appartengono ben 75 composti diversi, la cui tossicità varia fortemente a seconda della struttura chimica. - 15 - Le diossine furono identificate per la prima volta alla fine del 1800, ma la loro presenza nell'ambiente risale a molto tempo prima. Basti pensare che l'esistenza delle diossine in epoca pre-industriale è stata confermata dall'analisi dei tessuti organici di antichi Eschimesi, nonché da uno studio giapponese che dimostra la presenza di PCDDs nei sedimenti accumulatisi circa 8120 anni fa presso le aree della costa giapponese. Le diossine sono ubiquitariamente presenti nell'ambiente. L'esposizione globale dell'uomo alle diossine è stata valutata in diversi Paesi europei in una assunzione quotidiana media di 120 pico-grammi; negli ultimi anni, però, si è registrato un significativo calo dei livelli di diossine nell'ambiente ed il trend è destinato a continuare negli anni futuri. Le fonti di emissione di diossine sono le più diverse, normalmente collegate a processi termici, industriali e non.

Limitazioni nell'emissione di diossina
Nel 1989 nel 1990, Germania e Olanda hanno limitato le loro emissioni di diossina e furani nell'atmosfera a 0,1 ng /Nm^3 per gli inceneritori di rifiuti, mentre il Giappone ha raccomandato di ridurre le emissioni di diossina al minimo possibile permesso dalle migliori tecnologie disponibili. Nessun valore è stato imposto, tuttavia è indicato come limite per i nuovi inceneritori 0,5ng/m^3. Francia e USA non hanno limiti per le emissioni di diossine. L'unione europea si è interessata al problema ed ha imposto a partire dal 01/01/1997 il valore limite di 0,1ng/m^3. E' evidente da quanto detto che l'incenerimento, oltre ad avere alti costi di gestione e costruzione, è soggetto a sempre più restrittive misure di controllo, in quanto la combustione dei rifiuti può produrre emissioni di sostanze dannose per l'ambiente e la salute.

Le diossine, come molte altre sostanze nocive, **si formano in seguito alla combustione incompleta di qualsiasi materiale organico in presenza di cloro** di qualsiasi provenienza, sia esso organico che inorganico. Nei processi di incenerimento dei rifiuti solidi urbani le diossine si formano quando le temperature di combustione sono inferiori a 850°C. Esse vengono originate sia dai precursori clorurati presenti in varie tipologie di rifiuti (CPs, PCBs) sia da particelle carboniose

in presenza di cloro, vapor d'acqua, ossigeno e cloruri inorganici che agiscono da catalizzatori in intervalli di temperatura compresi tra i 200 e i 400°C.
In ogni caso, le diossine sono già contenute nei rifiuti in quantità superiori a quelle immesse nell'atmosfera attraverso i fumi della combustione. L'incenerimento di RSU condotto secondo le moderne tecnologie contribuisce, infatti, alla riduzione della presenza di diossine nell'ambiente. Studi recenti, basati su bilanci di materia accurati, hanno provato che le diossine che entrano con i rifiuti in un inceneritore sono da 40 a 100 volte superiori a quelle emesse nell'atmosfera, nelle acque e nelle ceneri, dai fumi di combustione.

Il PVC non è responsabile della formazione di microinquinanti organo-clorurati.
Il tenore complessivo in cloro dei rifiuti è generalmente al di sotto dell'1% e la quota parte addebitabile al PVC non supera il 35-45% del totale. Il restante 55-65% deriva in prevalenza dal cloruro di sodio e da altri cloruri inorganici contenuti in materiali di uso corrente quali carta, cartone e legno ed in tutti i rifiuti organici. La correlazione tra quantità di cloro presente nei rifiuti e produzione di diossine è stata messa in discussione da diversi studi condotti in Europa e negli Stati Uniti. Uno studio dell'American Society of Mechanical Engineers, effettuato sui dati provenienti da 450 impianti di incenerimento in tutto il mondo, non ha rilevato nessuna connessione statisticamente significativa tra le concentrazioni di diossina nei prodotti della combustione e l'immissione di cloro. Nell'80% dei casi esaminati, all'aumentare del tenore di cloro presente nei rifiuti, non si è registrata alcuna variazione nelle concentrazioni di diossina nei gas d'uscita. Nell'11% dei casi si è verificato un aumento, mentre il 9% dei casi ha mostrato addirittura una diminuzione nelle concentrazioni di PCDD/F a fronte di un aumento del contenuto di cloro. Un recente studio condotto dall'Istituto di Chimica Ambientale dell'Università di UMEA in Svezia conclude che non c'é correlazione tra le quantità di diossine che si formano nei processi di combustione e il livello di cloro nei combustibili, quando quest'ultimo è inferiore all'1%. Inoltre, nessuna differenza nel tasso di formazione dei microinquinanti clorurati è stata notata tra le diverse sorgenti di cloro (organico e inorganico). Un altro studio recentissimo, effettuato dal Centro di Chimica e Ambiente dell'Istituto di Chimica dell'Università di Leiden in Olanda, ha verificato che con un incremento sino ad otto volte del carico di PVC negli RSU si è notato solo un lieve incremento del livello delle diossine prodotte. Diverse altre ricerche condotte in Germania, Inghilterra e Stati Uniti hanno dimostrato come le emissioni di diossina dagli inceneritori di rifiuti solidi urbani si siano ridotte, dal 1970 ad oggi, del 50%; questo, in un periodo in cui la produzione di PVC, negli stessi Paesi, è più che raddoppiata. Per vie più dirette, infine, il Prof. Rappe è giunto alla stessa conclusione positiva per il PVC. Assertore della teoria dei "precursori di diossine", vale a dire dell'esistenza in una massa da bruciare di sostanze che per la loro struttura chimica hanno una predisposizione particolare a dar luogo a diossina, il Prof. Rappe afferma che il PVC è, come il sale da cucina, un precursore modestissimo.

8.10.5.7 Qualità delle emissioni

Le principali sostanze inquinanti presenti nei fumi prodotti dagli impianti di termodistruzione, prima di ogni trattamento, sono raggruppabili nelle seguenti tre categorie:

- **Polveri**

Le polveri sono costituite da particelle di sostanze presenti nei fumi allo stato solido (ossidi di metalli, particelle carboniose ecc.) dette "particolato", sulle quali si fissano le diossine ed altri microinquinanti condensabili.

- **Macroinquinanti**

Sono le sostanze presenti in forma gassosa, come biossido e monossido di carbonio, gas acidi come ossidi di azoto, anidride solforosa e acido cloridrico.

- **Microinquinanti**

Sono composti tossici presenti anche in concentrazioni molto basse, come i metalli pesanti, i composti organoclorurati quali clorofenoli, policlorobifenili, diossine e furani clorurati e gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Una parte degli inquinanti, come ad esempio CO, particelle carboniose e tracce di sostanze organiche, deriva da una combustione incompleta dei rifiuti. Un'altra parte è costituita da polvere, vapori di metalli pesanti (mercurio) e cloruri di essi (ad es. piombo, cadmio ecc.). Pertanto, oltre ad una corretta gestione degli impianti, è necessario ricorrere ad una fase di depurazione dei fumi che preveda più stadi di abbattimento in relazione alle caratteristiche chimico-fisiche degli inquinanti.

8.10.5.8 Abbattimento delle emissioni

Un primo, parziale abbattimento del potenziale inquinante derivante dal processo di combustione avviene grazie ai processi di raffreddamento dei fumi all'interno della caldaia, che riducono la possibilità di sintesi *de novo* delle diossine. Successivamente, prima della loro liberazione in atmosfera, i fumi sono sottoposti ad un trattamento per ridurre ulteriormente il tenore inquinante al di sotto dei parametri previsti dalla legge. Questo trattamento consiste in una serie di operazioni chimico-fisiche di depurazione.

8.10.5.9 Abbattimento delle polveri

L'impianto di abbattimento delle polveri, che deve essere installato a valle della caldaia per il recupero energetico, può essere a cicloni oppure elettrostatico. In quest'ultimo caso occorre mantenere la temperatura dei fumi al di sotto dei 250°C per evitare la sintesi *de novo* delle diossine, che tendono a riformarsi in presenza di scariche elettriche. Una volta abbattute le polveri, occorre procedere alla deacidificazione dei fumi prima di immetterli in atmosfera.

8.10.5.10 Abbattimento dei macro e dei micro-inquinanti

Esistono diversi processi di abbattimento dei macro e microinquinanti: ad umido, a semi-secco e a secco.

- Nei processi ad umido i fumi vengono trattati in elettrofiltri per la rimozione delle ceneri volanti e in gorgogliatori di lavaggio a doppio stadio dove i fumi vengono in contatto con una soluzione di lavaggio che li raffredda fino alla temperatura di saturazione (60-70°C) con una soluzione di calce o soda

caustica. Vengono così abbattuti acido cloridrico, fluoridrico, anidride solforosa e cloruri di metalli pesanti, mentre non vengono abbattuti gli ossidi di azoto e quasi tutto il mercurio. Le diossine normalmente condensate sul particolato, vengono concentrate nei fanghi provenienti dall'abbattimento delle polveri. A valle dei gorgogliatori possono essere installati degli impianti per la conversione degli ossidi di azoto in azoto mediante ammoniaca. Il mercurio, invece, può essere abbattuto con un trattamento a base di solfuro di sodio in una apposita sezione, mentre le diossine residue vengono trattenute in filtri a carbone attivo. Con il sistema ad umido si ottiene l'obiettivo di raggiungere rendimenti particolarmente elevati nella rimozione degli inquinanti gassosi con consumo di reagenti particolarmente basso e valori minimi di residui prodotti.

- Nei processi a semisecco vengono utilizzate delle sospensioni acquose di idrato di calcio come agente di neutralizzazione dell'acidità dei fumi. L'idrato di calcio è attivo su tutti gli acidi tranne che sugli ossidi di azoto. E' costituito da un reattore di assorbimento e da un filtro a maniche. L'efficienza di questi sistemi è è in funzione di numerosi parametri, tra cui il consumo di calce (eccesso stechiometrico), la temperatura, il contenuto di umidità dei fumi, il grado di atomizzazione del latte di calce. L'abbassamento della temperatura di raffreddamento dei gas in uscita dal reattore favorisce l'assorbimento degli acidi (come di altri inquinanti presenti in fase vapore).
- Nei processi a secco, invece, si impiegano come agenti di neutralizzazione ossido di calcio ventilato in polvere o bicarbonato di sodio iniettati nella corrente gassosa..

I sistemi misti sono del tipo a multistadio e si basano sulla combinazione di semisecco ed umido.
In condizioni di funzionamento normali il processo non ha scarico liquido in quanto lo spurgo è ricircolato al sistema di preparazione del latte di calce.
Proprio la caratteristica di essere sistemi a più sezioni di abbattimento permette di raggiungere elevate efficienze anche nel caso di anomalie di uno degli stadi che compongono la linea di depurazione dei fumi.

Gli impianti per il trattamento degli altri inquinanti sopra descritti, sono gli stessi. Il processo a bicarbonato, sviluppato con il nome NEUTREC R dalla Società SOLVAY, consiste nell'iniezione a secco di questo prodotto, miscelato ad una piccola quantità di carbone attivo, all'interno della corrente gassosa da depurare, a valle dell'impianto di depolverizzazione elettrostatico. Il bicarbonato, a temperature superiori a 140°C, si trasforma istantaneamente in carbonato di sodio liberando nel contempo acqua ed anidride carbonica. L'elevata porosità dei granuli di carbonato di sodio così originati, li rende altamente reattivi nei confronti degli acidi. La contemporanea riduzione del peso del reagente a seguito della sua decomposizione comporta una prima diminuzione del contenuto in polveri iniettate nella corrente gassosa.
Il carbone attivo aggiunto in piccole quantità al bicarbonato consente l'abbattimento del mercurio e delle diossine a dei livelli estremamente bassi. I fumi, prima di essere immessi in atmosfera passano su un impianto di abbattimento delle polveri costituito da filtri a maniche in Goretex microporoso che trattiene quasi tutte le polveri.

I sali sodici ottenuti (cloruro e solfato di sodio) possono venire sottoposti ad un processo chimico di depurazione ed essere riutilizzati in un impianto di produzione di bicarbonato di sodio secondo un processo messo a punto e brevettato dalla SOLVAY.
Ai sistemi sopra descritti vanno aggiunti quelli per l'abbattimento degli ossidi di azoto e dei microinquinanti (metalli pesanti e diossine) ormai sempre presenti nei nuovi impianti di incenerimento rifiuti.
I due processi normalmente utilizzati per la rimozione degli NOx sono del tipo SCR e SNCR.
La prima tecnologia (detta **R**iduzione **S**elettiva **C**atalitica) consiste nella installazione di un reattore posto a valle della linea di depurazione fumi in cui viene iniettata ammoniaca nebulizzata che miscelandosi con i fumi e attraversando gli strati di catatizzatori (ossido di vanadio e titanio su supporti ceramici) dà luogo alla riduzione degli NOx in azoto e acqua.
Il processo SNCR (**R**iduzione **S**elettiva **N**on **C**atalitica) presenta il grosso vantaggio di un minor costo specifico (da 4 a 5 volte gli SCR) e di non avere il problema di dover smaltire i catalizzatori esausti.
Tale processo consiste nella iniezione di un reagente (ammoniaca ad urea) in soluzione acquosa in una zona in cui la temperatura è compresa fra 850°C e 1050°C.Sono stati riscontrati rendimenti di abbattimento degli NOx del 55-70% con fattore stechiometrico compreso fra 1,2 e 1,8. Dosaggi più elevati aumentano la fuga (slip) di NH_3 che è comunque molto contenuto.

I metalli pesanti sono presenti sia in fase solida che vapore; la maggior parte condensano nel sistema di controllo delle emissioni, concentrandosi nel particolato fine (ceneri volanti).
Il loro abbattimento dipende quindi, principalmente dalla efficienza del depolveratore, soprattutto a livello delle polveri submicroniche.
Si è riscontrato che nel caso di un sistema di abbattimento a semisecco, l'efficienza di rimozione dei metalli è del 96-99%.

Per quanto riguarda le diossine è ormai stato dimostrato che il solo controllo dei parametri della combustione e post-combustione (tempo, temperatura, turbolenza) non è condizione sufficiente a garantire valori di emissione in accordo alle normative più stringenti. L'abbattimento delle diossine va quindi effettuato attraverso il meccanismo di chemiadsorbimento (passaggio dalla fase vapore a quella condensata adsorbita su superfici solide). Tale passaggio è favorito dall'abbassamento della temperatura e dall'utilizzo di materiali con caratteristiche adsorbenti come il carbone attivo. Solo così si possono garantire abbattimenti delle diossine e furani ai valori di 0,1 ng/Nm^3 (1 ng = 10-6 mg) come richiesto dalle normative.

8.10.5.11 Controllo delle emissioni

Nell'ambito della legislazione sull'inquinamento atmosferico vengono prescritti severi limiti per le emissioni inquinanti in atmosfera. Nella tabella seguente vengono riportati i limiti fissati con il decreto Ministeriale 12.7.90. Tali limiti vengono confrontati con i dati delle emissioni medie in uscita dagli impianti di vecchia generazione e con quelli relativi agli impianti moderni, quelli, cioé, realizzati

secondo quanto previsto dalle prescrizioni normative. La tabella riporta, inoltre, i livelli massimi oggi raggiungibili con le tecnologie più sofisticate e aggiornate.

Tabella 8-10 Emissioni inquinanti dagli impianti di termovalorizzazione

Concentrazioni (mg/m3 secco in condiz. normali)	**Limiti normativa italiana**	**Emissioni vecchi impianti**	**Emissioni impianti moderni**	**Massimi oggi raggiungibili**
Polveri totali	30	50-200	10-15	<5
Monossido di carbonio	100	500	100	50
Ossido di zolfo	300	50-300	50	<30
Ossidi di azoto	500	15-40	100-300	<70
Sostanze organiche	20		10-20	<1
Acido cloridrico	50	100-800	20-30	<3
Acido Fluoridrico	2	2-10	1-5	<0,3
Cadmio e composti	-		0,05-0,1	<0,005
Mercurio	-		0,1	<0,005
Altri metalli	-		2	<0,2
PCDD/PCDF	4.000 ng/m3	20-10.000 ng/m3	0,1-1 ng/m3TE*	<0,1 ng/m3TE

Fonte: atti del Convegno "L'incenerimento dei rifiuti" (16.3.1995)
* Total Equivalent

Come si può facilmente dedurre dalla tabella, le tecnologie più avanzate di termovalorizzazione dei rifiuti solidi urbani consentono, oggi, di effettuare i processi di combustione in condizioni di assoluta sicurezza per l'ambiente. Oggi, infatti, le emissioni pericolose risultano ben al di sotto dei limiti previsti dalla normativa e inferiori a quelli di altre comuni sorgenti di emissione connesse a processi di combustione, come si vede dalla tabella seguente.

Tabella 8-11 Confronto tra diverse fonti di emissioni di macroinquinanti

Rilasci in Kg/h	SO_X	NO_X	CO	Sost. organ.	Polveri
Termovalorizzatore RSU da 400 t/giorno	13,5 *	18	9	TOC 1,8	0,9
Raffineria da 10.000 t/g di greggio	650	110	20	COV 20-50	10
Centrale termoelettrica a olio combustibile da 320 MW	490	750	37,4	COV 9	5,7
Impianto di produzione allumina da 800.000 t/anno	1.500			TOC 1,2	120
Impianto di produzione alluminio da 125.000 t/anno	390				8
Fabbrica laterizi (tegole) da 60.000 t/anno	8	8			
Riscaldamento domestico a gasolio per 10.000 persone	106	38	173	COV 11,3	28
Traffico (1000 automobili)	14	63	735		2,1

Fonte: ENEA - 5° Convegno Nazionale "Inquinamento dell'aria e tecniche di riduzione" - Rubano (PD) - 4/7 Dicembre 1995

** Valore basato sul rispetto della concentrazione limite di 150 mg/Nm3 in emissione. Valori effettivi di 50 mg/Nm3 sono oggi peraltro abbastanza facilmente ottenibili: in tal caso si hanno 4,4 kg/h per l'emissione di SO2*

8.10.5.12 Controllo delle emissioni di diossine e di HCl

Per ciò che concerne, in particolar modo, le diossine, rese di abbattimento pari al 99,999% sono ormai incluse nelle specifiche di progetto dei nuovi impianti di incenerimento. Per fare un esempio, i limiti relativi a diossine e furani previsti, per i nuovi impianti con potenzialità superiore alle 400 t/giorno, nel Piano Smaltimento Rifiuti della Provincia di Milano, sono pari a 0,012 ng/Nm3, ben otto volte inferiori ai limiti europei più restrittivi (pari a 0,1 ng/Nm3). Anche per ciò che concerne le emissioni di acido cloridrico, negli impianti moderni la quantità di HCl emessa è facilmente contenibile entro i 10 ppm prescritti dalle norme CEE, più restrittive rispetto alle norme nazionali. Negli inceneritori che utiizzano bicarbonato di sodio come agente di neutralizzazione degli acidi presenti nei fumi, nelle normali condizioni di esercizio dell'impianto è possibile rimanere al di sotto di 5 ppm di HCl.

Tabella 8-12 - Emissioni di diossine in atmosfera (1991) e valori previsti per il 2000, dopo investimenti mirati. Sorgente g I-TEQ / anno 1991 2000

Sorgente	g I-TEQ / anno	
	1991	2000
Incenerimento di rifiuti urbani	382	3
Processi di sinterizzazione	26	3
Uso di PCP (in passato)	25	20
Incenerimento di rifiuti chimici	16	1,7
Incenerimento di legname	12	9
Traffico	7	2,6
Industria metallurgica	4	4
Combustione di carbone e lignite	3,7	3,7
Processi ad alta temperatura (es. vetro)	2,7	2,7
Incenerimento di rifiuti ospedalieri	2,1	-
Incenerimento di cavi e motori	1,5	1,5
Combustione degli oli residui	1	1
Proces. produz. chimica incl. cloro e PVC	0,5	0,5
Incenerimento di biogas e fanghi	0,3	1,5
Miscelazione di asfalto	0,3	0,3
Crematori	0,2	0,2
Totale	484	54,7

Fonte: *RIVM/TNO Inventario delle fonti di diossina nei Paesi Bassi - 1991*

La termovalorizzazione dei rifiuti solidi urbani

8.10.6 I casi di Alto Vicentino Ambiente e Terni

8.10.6.1 Impianto di termovalorizzazione di Alto Vicentino Ambiente srl [131]

Alto Vicentino Ambiente ha in proprietà e gestisce un impianto di incenerimento dei rifiuti urbani e di rifiuti sanitari con recupero del calore e produzione di energia elettrica.
L'impianto è costituito da due linee parallele (linea 1 e linea 2), alimentate da un'unica fossa, dotate di sistemi separati per la depurazione dei fumi e di caldaie per il recupero del calore; le linee sono asservite ad un'unica turbina per la produzione di energia elettrica.
L'impianto, in funzione 24 ore su 24, è in grado di smaltire c.a 100 t/giorno di rifiuti.
FUNZIONAMENTO

Sezione stoccaggio

I rifiuti urbani, opportunamente registrati al ricevimento, vengono scaricati dai mezzi di trasporto nella fossa di accumulo. Tale fossa ha una capacità pari a ca. tre volte la potenzialità giornaliera complessiva dell'impianto ed è chiusa, interrata e posta in

[131] Da http://www.altoambiente.it/Impianti_termo.htm , 2003.

depressione tramite un sistema di aspirazione dell'aria, che viene utilizzata come comburente per l'incenerimento. Il caricamento dei forni viene effettuato tramite carroponte con benna oleodinamica a polipo. Per i rifiuti sanitari, opportunamente imballati, viene anche utilizzato un sistema di caricamento automatico separato.

Tabella 8-13 Sezioni incenerimento: dati tecnici

	Linea 1	Linea 2
Rifiuti trattabili	R.U. e assimilabili	R.U. e assimilabili Rifiuti sanitari
Potenzialità	36 t/g	60 t/g
Anno di costruzione	1982	1991
Tecnologia utilizzata	Forno a griglia mobile	Forno a griglia mobile
Potere calorifico progetto		3500 Kcal/kg
Superficie griglia	9 mq	14,3 mq
Volume camera di combustione e post-combustione	43 m3	124 m3
Produzione vapore	4.600 kg/h	13.100 kg/h
Pressione del vapore	20 ata	20 ata
Temperatura del vapore	240°C	295°C
Turbogeneratore:	di riserva solo per linea 1	in servizio per linea 1 e linea 2
Tipo	Monoruota a condensazione	a condensazione (De Pretto Escher-Wyss)
Potenza	500 KVA	2800 KVA
Portata vapore	4600 kg/h	6800 kg/h

Pressione	20 ata	20 ata
Temperatura	240°C	280°C
Pressione allo scarico		0,25 ata
Potenza prodotta	2240 Kw (linea 1 e linea 2)	
Cessione alla rete ENEL	Ca. 60 % della produzione annua	

Sezione produzione di energia elettrica
Il vapore prodotto in entrambe le caldaie viene utilizzato direttamente in una turbina De Pretto Escher-Wyss a condensazione. In queste condizioni il turbogeneratore è in grado di produrre 2.240 kW di potenza.

Figura 8-26 Mole dell'impianto di Alto Vicentino Ambiente

Sezione depurazione fumi
L'impianto di Alto Vicentino Ambiente srl è dotato di sofisticate apparecchiature per il monitoraggio in continuo dei fumi al camino finale. Tali dati vengono utilizzati per ottimizzare la conduzione dell'impianto stesso e fanno parte della documentazione periodicamente inviata agli enti di controllo.
Le apparecchiature vengono sottoposte ad adeguate procedure di manutenzione e taratura programmate, in modo da garantirne l'efficacia e l'affidabilità, in conformità con i requisiti della norma UNI EN ISO 9002.
Descrizione della depurazione dei fumi nelle due linee:

Linea 1
Torre di abbattimento a semisecco: l'abbattimento degli acidi avviene mediante investimento dei fumi con latte di calce nebulizzato che li neutralizza all'interno di una colonna verticale. Elettrofiltro per l'abbattimento delle polveri: un filtro elettrostatico ad un campo ad alto rendimento separa le polveri trascinate dalla camera di combustione (più propriamente ceneri leggere) e i sali formatisi nella torre di abbattimento, che vengono raccolti ed avviati ad inertizzazione e smaltimento.
Il ventilatore di tiraggio ed il camino alto 40 metri provvedono infine all'evacuazione dei fumi, lavati e depurati, nell'atmosfera.

Linea 2
Elettrofiltro per l'abbattimento delle polveri: un filtro elettrostatico a due campi in

serie separa le ceneri leggere, che vengono raccolte ed avviate ad inertizzazione e smaltimento. Un ventilatore di tiraggio invia i fumi alla successiva torre di lavaggio.
Torre di abbattimento ad umido: l'abbattimento avviene attraverso l'assorbimento degli inquinanti in soluzione acquosa all'interno di una colonna verticale in cui i fumi vengono investiti a pioggia dall'alto, in controcorrente. Si tratta di una colonna a doppio stadio in cui la parte inferiore funziona in condizioni di pH acido ed assorbe la maggior parte dell'acidità dei fumi, la parte superiore, alimentata con soluzione di soda caustica, abbatte l'acidità residua, in particolare l'anidride solforosa.
I fumi in uscita, carichi di umidità, passano attraverso lo scambiatore fumi-fumi per essere riscaldati ed avviati al camino finale.

8.10.6.2 L'impianto di termovalorizzazione dei rifiuti di Terni [132]

Venne realizzato nel 1975, progettato per bruciare i rifiuti prodotti dai Comuni del bacino 8 della legge regionale 44/87 comprendente Terni, Arrone, Ferentillo, Montefranco, Polino, Narni, Otricoli, Calvi.
L'impianto, impostato su due linee uguali e speculari, è stato progettato per una capacità di termodistruzione di 150 t/giorno di rifiuti solidi urbani tal quali, pari alle necessità di bacino. E' rimasto in funzione fino al 1980 quando fu fermato, poiché per la linea di trattamento fumi non rispondeva ai requisiti di legge. Per adeguare l'impianto alle normative di legge, fu necessario realizzare le camere di postcombustione, un impianto di cogenerazione ed un nuovo impianto di trattamento fumi. Fu altresì necessario eseguire lavori di manutenzione straordinaria in conseguenza del lungo periodo di fermo impianto. Nel 1996, al momento del passaggio dei servizi di igiene urbana all'ASM, l'impianto era ancora fermo, necessitando di ulteriori interventi impiantistici alla linea fumi, consistenti nella realizzazione di due reattori semisecco e di due batterie di filtri a maniche per adeguarsi ai limiti di legge. Tali ulteriori opere sono state eseguite dall'ASM e l'impianto è stato avviato nel gennaio '98 con la supervisione di una Commissione Interistituzionale nominata dalla Regione. Dal 4 settembre del '98 l'impianto ha avuto l'autorizzazione

Figura 8-27 Impianto di Terni

Figura 8.28 Cassetto per l'alimentazione forno a griglia della frazione secca

[132] Da http://www.asmterni.it/Igiene_ambientale , 2003.

Regionale. Ubicato su un sito nell'area industriale di Maratta, l'impianto brucia 120 t/giorno di Frazione secca, combustibile prodotto derivato da un processo di preselezione primaria, con un potere calorifico di 3.000-3.300 Kcal/ Kg.

Con "frazione secca" si identifica la frazione combustibile derivante da vagliatura meccanica dei rifiuti indifferenziati ed alimentabile anch'essa in un impianto di recupero energetico .

La frazione secca combustibile viene scaricata e stoccata all'interno dell'impianto in un'apposita fossa, da dove viene prelevata da una gru a ponte dotata di benna e caricata nella tramoggia di alimentazione di ciascun forno, dalla quale viene estratta con un alimentatore a cassetto che la trasferisce nella camera di combustione. La camera di combustione è del tipo a griglie mobili, sistema Von Roll, inclinate, con gradone intermedio. L'aria di combustione è insufflata nelle varie zone di combustione con possibilità di regolazione sia della portata complessiva che di quella in ciascuna zona. Il forno è munito di un bruciatore di metano per riscaldare, solo durante l'avviamento, la camera di combustione fino ad una temperatura di 950°C, prima di immettere i rifiuti.

Figura 8-29 Impianto di termovalorizzazione di Terni

Le scorie pesanti, residuali della combustione, vengono scaricate al termine della griglia, spente in acqua e trasportate alla fossa scoria mediante un trasportatore a raschietti in bagno d'acqua. I fumi della combustione entrano nel postcombustore, dove permangono per almeno 2" ad una temperatura superiore ai 950°C e con un contenuto di O_2 superiore al 6%, consentendo di completare l'ossidazione della parte volatile e la dissociazione dei composti organici. Lo scambio termico avviene nelle due caldaie a recupero, che producono complessivamente 14 t/h di vapore surriscaldato alla pressione di 38 bar ed una temperatura di 360°C. Il vapore alimenta un turboalternatore a condensazione, unico per le due linee, della potenza di 2.500 kW. Il vapore di scarico della turbina viene condensato in un condensatore a superficie, alimentato con acqua in ciclo chiuso, rigenerata mediante torri di raffreddamento a tiraggio forzato e rimessa in ciclo.

Il ciclo termico è completato da un gruppo demineralizzatore che provvede al reintegro delle condense perdute per drenaggi, campionamenti, ecc.

A valle della caldaia i fumi, alla temperatura di circa 300°C, vengono ulteriormente raffreddati nella torre di reazione con iniezione di una sospensione di latte di calce fino ad una temperatura di circa 160°C. Nella torre avvengono le reazioni di assorbimento dell'acido cloridrico e delle altre sostanze acide. I fumi, quindi, entrano nel filtro a maniche per la captazione delle polveri e dei prodotti della deacidificazione. La depurazione dei fumi termina in due scrubber a umido, uno per linea, dove si completa l'assorbimento delle sostanze clorate e solforate, attraverso iniezione di soda e carbone attivo.

Figura 8-30 Caldaie fumi e torre di reazione con, in basso, serbatoio con sospensione di latte di calce

Le acque di scarico vengono trattate in un impianto di depurazione interno ed inviate al depuratore comunale.
Le ceneri e le polveri dei fanghi residuali della depurazione fumi vengono inertizzate e smaltite in discariche autorizzate.
Le emissioni in atmosfera vengono controllate da un sistema di monitoraggio in continuo dei fumi in camino collegato in tempo reale con l'ARPA provinciale. I parametri sotto controllo sono: polveri, SO_2, Nox, HCl, COT, Umidità, O_2, Temperatura, Portate fumi.
Il controllo sulle emissioni in atmosfera viene altresì fatto in modo analitico, distintamente dal Laboratorio Controllo Qualità dell'ASM e da un laboratorio esterno.

CAP. IX L'isola che non c'è

9.1 Virus o Figli di DIO?

Il fatto è che siamo esseri umani.
E, a parte alcuni Santi che percorrono ogni generazione, l'uomo se ne infischia, la maggior parte dell'umanità è ignorante, ignorante riguardo la Madre delle Madri, riguardo il rispetto che dovrebbe avere per chi la ha generata e le dà da mangiare, e da respirare, e da vivere tutti i giorni: Madre Natura.

Così recita l'agente Smith, il responsabile dei cervelli virtuali mentre parla a Morpheus, il capo della resistenza umana, in "Matrix": " Desidero condividere con te una geniale intuizione che ho avuto durante la mia missione qui. Mi è capitato mentre cercavo di classificare la vostra specie. Improvvisamente ho capito che voi non siete dei veri mammiferi. Tutti i mammiferi di questo pianeta d'istinto sviluppano un naturale equilibrio con l'ambiente circostante, cosa che voi umani non fate. Vi insediate in una zona e vi moltiplicate, vi moltiplicate finché ogni risorsa naturale non si esaurisce e l'unico modo in cui sapete sopravvivere è quello di spostarvi in un'altra zona ricca. C'è un altro organismo su questo pianeta che adotta lo stesso comportamento, e sai qual è? E' il VIRUS. Gli esseri umani sono un'infezione estesa, un cancro per questo pianeta, siete una piaga e noi siamo la cura."……

Un'onda di "parteggiamento" verso l'umanità ci farebbe prendere le difese di Morpheus e della resistenza, un attimo di riflessione ci farebbe capire che dette parole…sono vere.
Almeno finché non decidiamo di non essere più un cancro per il nostro pianeta.
E che quei fatti sono molto ma molto verosimili, procedendo così le cose.
Allora?
Allora, per chi ha una coscienza, una sensibilità congenita e poco contaminata verso la Natura, non resta che, innanzitutto, prendere coscienza che chi gli sta attorno se ne frega, poi che egli stesso e i simili con i quali condivide questo dono dovrebbero sforzarsi a fare qualcosa, a cambiare piano piano le cose, a vincere l'avidità cieca e bieca degli "altri", e a fare una rivoluzione naturale.
Vedremo poi perché "rivoluzione naturale".
La maggior parte degli esseri umani, andando al mare, o in montagna, o in posti meravigliosi, si porta da mangiare e da giocare, quando se ne va lascia dal 20 all'80% degli imballi alimentari o altro.
Appurato.
Tutti gli esseri umani, e qui non la maggior parte ma tutti, nel corso della loro Storia, cella dopo cella, come api laboriose, hanno costruito un setaccio di interessi, di tornaconti, di seguito di interessi economici, finanziari di fronte alle loro Religioni, ai loro Studi, alle loro Quotidianità, alle loro Scienze e alle loro Coscienze.
Questo setaccio, nella Storia dell'uomo, non è mai stato così spesso come in questi ultimi decenni di grandissima e grandiosa innovazione tecnologica.
Ma c'è un limite che la nostra Casa ci ha posto, non improvviso, ma costruendolo nel tempo nel rifiutare l'inquinamento, un limite di fronte al quale siamo arrivati.

Ecco perché non possiamo più tergiversare, non possiamo più aspettare, non possiamo più continuare a violentare le nostre risorse, modificandole e non ripristinandole.
Questo limite non è poetico, è scientifico.
Ne abbiamo assaggiato qualche dato nel corso di questo lavoro, ma l'entità del problema è ancora più grande.
Abbiamo parlato di rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche, ma ci sono anche quelli urbani, quelli da produzione, quelli speciali, quelli dovuti a indifferenza ed ignoranza quotidiana sulla carta, sulle plastiche, sui vetri; ci sono quelli che produciamo indirettamente sprecando, come imbecilli, energia, acqua, risorse tutti i giorni che Dio mette in Terra, ci sono le emissioni gassose, i reflui liquidi, l'inquinamento dell'acqua, lo spreco incosciente di carta…e di alberi, e di vita.
Quindi "la rivoluzione".
Dobbiamo agire. Dobbiamo lavorare e per contenere il danno già fatto e risparmiare le risorse già coinvolte, e per progettare, costruire, organizzarci per sviluppare delle tecnologie sostenibili, da adesso in poi; ma non è una strada o un bel concetto, è un imperativo per continuare a vivere in questo mondo.
Il buco dell'ozono o l'effetto serra sono solo alcuni dei danni gravi che stiamo infliggendo al Pianeta, ce ne sono di meno globali e di altrettanto terribili, nella vita di tutti i giorni, nelle città, nei nostri quartieri, nel nostro cibo, nella nostra acqua e nella nostra aria.

Allora.
Dato che veniamo da studi che ci proietterebbero o proiettano in ricerche e sviluppi in enti e aziende con impressionanti nomi e con intenti importanti, dato che è più comune, tra "scienziati", fare discorsi galattici sugli impianti di termovalorizzazione, sui sistemi di separazione polimeri, sul trattamento economico in sistemi di gestione integrati di servizi ambientali, dato che ci verrebbe da fare numeri sulle imprese, le aziende, le università più pionieristiche dal punto di vista dei sistemi fisico-chimici di estrazione metalli preziosi da PWB o quant'altro,…, date queste cose…parliamo dell'uomo comune, dell'uomo della strada, della ragazza della porta accanto, della Signora che non ha idea della differenza che intercede tra un polimero e un pancotto, parliamo dei bambini che inventano aerei di legno, del professore di letteratura che si fa il pranzo a microonde senza sapere perché, con quelle onde, si scalda la minestra; diciamo del ginnasta che usa calzoni in polivinile, dello studente che usa un vecchio PC o che getta il floppy, della ragazzina che manda sms con un telefonino… Parliamo dei miliardi di persone che non sanno di chimiche e di fisiche e di ingegnerie, parliamo di chi non sa cos'è un Monossido di Carbonio o un Protossido di Azoto, che cosa voglia dire PET o cosa sia il fumo di Piombo.
Parliamo anche di chi, queste cose, le ha viste, o le ha studiate, o le sa ma non sa come fare per non provocare danni al Creato; parliamo di tutti noi.

Se ci proiettiamo in questa prospettiva, quale sarà il problema, allora?
Non certo quello del trattamento, né quello della separazione del poliuretano dai CFC, né quello della produzione di energia elettrica da una turbina a vapore a valle di un impianto di combustione a combustibile derivato da rifiuti; queste sono problematiche che una ben definita cerchia di persone affronta ogni giorno e di cui si hanno splendidamente tecnologia e mezzi (ma poca volontà di adottarli bene).

Se ci proiettiamo in questa prospettiva vedremo che il problema sarà quello della sorgente, quello della raccolta, quello della raccolta quotidiana e del conferimento intelligente, quello è ciò che vedremmo (e che vedremo) da quella prospettiva!
In Italia, comunque, siamo circa 60.000.000.

9.2 Cosa si farà in questa sede?

Creare un circuito virtuoso per la raccolta non è semplice, crearlo con gli importi, anche arbitrari ed ipotetici, è impossibile farlo nel corso di questo lavoro; c'è una grande confusione normativa, organizzativa e tecnica a capo delle più importanti aziende e dei più grandi enti del settore, non possiamo certo tentare di fare una progettazione realistica senza avvalerci di tutte le altre figure, e con i dati (limitatissimi) che possediamo.
Al termine di un Convegno tenutosi a Carpi il 9 Giugno 2003, il Presidente di FederAmbiente ha parlato a chiare lettere sul problema delle facili illusioni che un ricercatore, oggi come oggi, si può fare e della confusione generale sull'argomento in termini di figure quali Comuni, Province, APAT, ANIE, etc. on senza incollerirsi per la mancanza di attenzione, in tutto questo, per la figura a monte di tutte: il cittadino.
Diciamo, allora, che in questa sede ci si impegnerà a dare degli input e dei nomi alle problematiche più grandi. I problemi per un tecnico, anche stimolanti, sono:

- **primario: mettere d'accordo gli attori (Oddio!);**
- **creare il circuito in grado di accettare il progetto e dar vita all'Isola;**
- **creare un circuito virtuoso con gli importi ed i programmi (software?);**
- **decidere il grado di automazione dell'Isola e il punto in cui si farebbe necessario avere dei controllori, dei gestori all'accettazione, e di quale "razza"(comunali, privati,…);**
- **accordo quadro con la provincia, ente pianificatore territoriale, ATO (Ambito Territoriale Ottimale);**
- **decidere i siti dove costruire;**
- **progettare il sistema di erogazione scontrino, o caricamento carta magnetica, per il Bonus nuovo acquisto;**
- **prevedere un sistema Bonus anche per altre classi merceologiche, con relativo circuito;**
- **prevedere la possibilità di pagamento Bonus in contanti: è importante!**
- **organizzare ed innescare un sistema di informazione e pubblicità.**

9.3 Esistono oggi

Esistono, oggi come oggi, degli esempi molto calzanti e interessanti: si chiamano Isole Ecologiche, EcoStazioni, EcoCentri, Stazioni Ecologiche.
Non c'è, però, una omogeneità progettuale ed organizzativa; i casi sono molto lontani tra loro, sia geograficamente che concettualmente.

9.3.1 COBAT

Per favorire la raccolta delle batterie esauste, ad esempio, il Cobat ha promosso la stipula di Convenzioni con le Autorità Portuali per l’installazione di Isole Ecologiche, ossia strutture attrezzate in apposite aree con i cassonetti necessari al conferimento delle batterie esauste utilizzate dai natanti per l’avviamento dei motori, ove gli utenti della nautica privata e professionale possono conferirle senza alcuna incombenza.
Ad oggi sono già operative Convenzioni con importanti marinerie italiane, quali, Ancona, Pescara, Viareggio, Savona, Cagliari e Castellamare di Stabia, e molte altre sono in corso di attuazione: La Spezia, Genova, Olbia, Imperia, Venezia, Salerno, Vibo Valentia, S. Benedetto del Tronto, Livorno, Taranto, e molte altre ancora.
Con il progetto “L’Isola nel Porto”, coerente con gli adempimenti previsti dalla normativa vigente che affida alle Autorità Portuali precise responsabilità in materia di rifiuti, il Consorzio intende presidiare una delle aree maggiormente critiche per la dispersione nell’ambiente delle batterie esauste.
I risultati finora ottenuti sono veramente positivi, a dimostrazione del fatto che laddove esistono strutture dedicate la risposta degli utenti non si fa attendere.

9.3.2 Segnali dal NOE

Dal NOE (Nucleo Operativo Ecologico) ci viene la notizia che in molte città sono state costituite apposite aree denominate "isole ecologiche", dove ogni cittadino può disfarsi gratuitamente delle batterie esauste.
Il NOE stesso avverte il cittadino sulla importanza del non abbandonare i rifiuti ingombranti in luoghi vietati, ma di contattare la Amministrazione Comunale (Assessorato all'Ambiente) che fornirà le informazioni utili circa le modalità più opportune per lo smaltimento.

9.3.3 Alto Vicentino Ambiente

L’insorgere della mentalità dell’ "usa e getta", in seguito alla crescita del tenore di vita negli ultimi anni, ha provocato un notevole aumento dei consumi e di conseguenza della produzione di rifiuti e una loro svariata ed errata composizione.
Nel vedere, giustamente, il rifiuto come una risorsa che può ridiventare materia vera e propria o calore ed energia da impiegare per gli usi quotidiani, e non più come peso, Alto Vicentino Ambiente srl, ritiene prioritario, come facciamo noi in questo Capitolo, agire per potenziare i sistemi di raccolta differenziata al fine di aumentare la percentuale di rifiuti destinata al recupero e al riutilizzo, di sottrarre i rifiuti pericolosi dai rifiuti urbani e inviarli a corretto smaltimento, di migliorare il rifiuto destinato all’incenerimento e di coinvolgere il cittadino nella gestione dei RAEE.
A tal fine questa azienda si è impegnata in questi ultimi anni nella progettazione e realizzazione di 25 Ecocentri, 17 dei quali sono già operativi.
Gli Ecocentri sono aree custodite e attrezzate per la raccolta differenziata nelle quali i cittadini possono portare i loro rifiuti da raccolta differenziata, consentendo loro di destinare correttamente i rifiuti pericolosi e i rifiuti recuperabili. In queste EcoStazioni l’utenza ammessa è quella domestica; sono vietati conferimenti superiori

a quelli che normalmente vengono prodotti in una attività familiare.
Come dicevamo, un problema, in questi centri, è anche la sorveglianza e la custodia. La custodia delle EcoStazioni è affidata a delle associazioni di volontariato, i cui operatori controllano le corrette modalità di conferimento, secondo le disposizioni del regolamento dell'Ecostazione, indirizzano gli utenti a conferire nei vari contenitori e svolgono tutte quelle funzioni necessarie per una corretta gestione delle attività. L'accesso è gratuito.
Le dodici Ecostazioni aperte da maggio 1999 sono a servizio di più di 30 comuni e possono accogliere:

- materassi, divani, poltrone, oggetti di grandi dimensioni;
- indumenti usati, abiti;
- sfalci e ramaglie;
- mobili, armadi, sedie, pezzi di tavole, oggetti costituiti da legno;
- inerti;
- contenitori in vetro, bottiglie;
- **beni durevoli: lavatrici, lavastoviglie, televisori, monitor, frigoriferi e condizionatori, etc.**;
- carta e cartone;
- scarti ferrosi in genere;
- pile esaurite: alcaline, zinco-carbone, ricaricabili, a bottone;
- medicinali provenienti da utenze domestiche;
- batterie per auto;
- lampade al neon (con idoneo imballo);
- olii minerali esausti;
- olii vegetali esausti;
- contenitori per prodotti pericolosi.

Come si vede, qui, l'idea è stata estesa ad una vera e propria infinità di classi merceologiche. Il centro è un'area custodita e attrezzata di appositi contenitori nei quali si possono portare diverse tipologie di rifiuti.
In queste ecostazioni vi è un **box** suddiviso in tre vani adibiti rispettivamente
allo stoccaggio delle pile, dei farmaci, delle batterie, delle lampade al neon, dei contenitori etichettati T e/o F e contenitori esausti di vernice e solventi, servizio igienico con doccia,ufficio.
Possono portare rifiuti o BDD tutti i cittadini dei Comuni con Ecostazione ma i rifiuti devono, nei limiti del possibile, essere ridotti il più possibile e separati per tipologia.
Ci sono, anche qui, delle cose poco comprensibili, come il fatto che l' utenza ammessa debba essere quella iscritta a ruolo TARSU del Comune servito dall'Ecostazione e che sono vietati conferimenti superiori a quanto normalmente si produce in casa (quantità domestica)(?).

9.3.4 Traversetolo

A Traversetolo, Parma, abbiamo un altro esempio di stazione ecologica attrezzata, luogo, anche qui, di una generale raccolta differenziata. E' possibile portare non solo quello che si raccoglie già nei cassonetti colorati (vetro, lattine, pile, medicinali scaduti, carta e plastica), ma tutti quei rifiuti che possono essere riciclati e per i quali

non è previsto un apposito cassonetto. Non è perciò una discarica, ma l'esatto contrario.

Figura 9-1 Isola ecologica (è un'isola ecologica?) a Traversetolo

Anche qui si possono portare:

- vetro anche di grosse dimensioni,
- plastica,
- alluminio e banda stagnata,
- pile,
- farmaci scaduti,
- potature e sfalci,
- carta e cartone,
- rifiuti urbani pericolosi,
- rifiuti ingombranti di origine domestica,
- pneumatici,
- imballaggi,
- legnami vari,
- batterie d'auto,
- oli per i motori e oli domestici.

9.3.5 AGAC Reggio Emilia

L'AGAC di Reggio Emilia, su incarico dell'Amministrazione Comunale, ha attivato un nuovo servizio per i cittadini del Comune. Sarà, infatti, possibile richiedere gratuitamente il ritiro presso il proprio domicilio di rifiuti ingombranti di grandi dimensioni derivanti dall'abitazione quali mobili, televisori elettrodomestici, materassi, ecc. raccomandando soltanto che Il materiale sia depositato davanti all'abitazione in posizione ben visibile, ma non a lato dei cassonetti. AGAC avvia il materiale raccolto al riciclaggio. L'obiettivo del nuovo servizio è quello di aumentare la quantità di rifiuti raccolti in modo differenziato e rendere più efficiente il servizio di raccolta dei rifiuti solidi urbani.

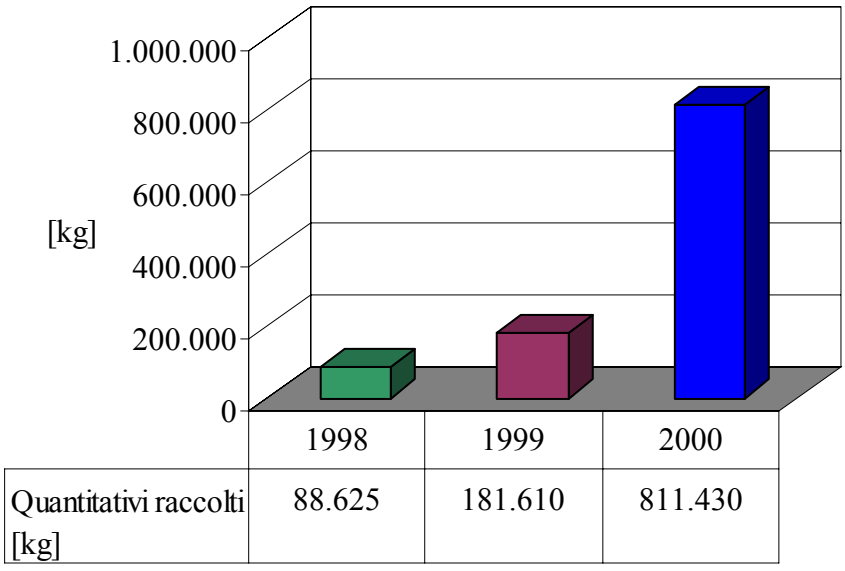
9.3.6 Modena

Nel Modenese, dal 1994, sono state messe in essere 28 Isole Ecologiche, di cui 4 a Modena ed 1 per ogni Comune, dando, come risultato, un bel $\cong 0$ abbandono. In provincia di Reggio Emilia esistono egualmente le Isole Ecologiche, che operano con le stesse modalità e mezzi di quelle di Modena o di Traversatolo; di queste ultime abbiamo un esempio di raccolta batterie esauste: 44,5 t di pile e 666 t di frigoriferi nel 2002. Sempre nel Reggiano, il Comune di Correggio (RE), dall'inizio del 2002, ha deciso di attivare la raccolta dei rifiuti elettronici (televisori, PC, stampanti, fax, ecc…) in risposta alle crescenti quantità di dismissioni che non trovavano adeguate modalità di smaltimento. L'assessorato Ambiente del Comune ha quindi deciso di attivare il servizio presso l'isola ecologica cittadina, chiedendo la collaborazione di

TRED CARPI Srl per le operazioni di ritiro e riciclaggio degli apparecchi ivi raccolti. All'interno dell'isola ecologica sono collocati i "TRED BOX", carrelli attrezzati per lo stoccaggio e la protezione dei rifiuti elettronici. Periodicamente, TRED CARPI ritira questi contenitori avvalendosi del supporto logistico della Coop sociale "Riparte", e li porta nel proprio impianto di Carpi (Mo) dove avvengono tutte le operazioni di recupero/riciclaggio/smaltimento. I risultati sono incoraggianti: nei primi 5 mesi successivi all'attivazione del servizio sono state raccolte oltre 20t di rifiuti elettronici (circa 1 Kg/ab del comune), dimostrando la risposta dei cittadini all'iniziativa.

9.3.7 Udine

E vediamo anche il caso di Udine.
I quantitativi di beni durevoli oggetto di raccolta differenziata, in Provincia di Udine, si sono, nel corso del triennio 1998-1999-2000, quasi decuplicati, passando da poco meno di novanta mila kg nel 1998 a poco più di ottocento mila kg nel 2000. L'andamento dei quantitativi di beni durevoli oggetto di raccolta differenziata a livello provinciale è rappresentato dal seguente grafico "Evoluzione della raccolta differenziata dei beni durevoli nella Provincia di Udine nel triennio 1998-1999-2000".



	1998	1999	2000
Quantitativi raccolti [kg]	88.625	181.610	811.430

Grafico 9-1 Evoluzione della raccolta differenziata dei beni durevoli nella Provincia di Udine nel triennio 1998-1999-2000

Andamento quello appena illustrato che testimonia un **progressivo aumento della risposta da parte dei cittadini nei confronti delle opportunità di conferimento poste in essere dagli Enti gestori**.
A questo punto, sulla base dei dati presentati in precedenza, si vuole individuare un probabile andamento, nel quinquennio 2001-2005, per i quantitativi di beni durevoli raccolti in maniera differenziata nella Provincia di Udine.

Tale tipo di proiezione viene effettuata sulla base di un'analisi di regressione, si tratta di un tipo di analisi statistica utilizzata per la previsione dell'andamento dei valori assunti, in futuro, da una data variabile. In particolare, l'analisi di regressione stima i rapporti tra le variabili in modo che sia possibile valutare l'andamento di una data variabile in funzione delle altre.
Nel seguito, più specificamente, si utilizzerà, disponendo di una serie di dati limitata a soli tre anni, una regressione lineare per mostrare come i quantitativi raccolti tendano, manifestamente, a crescere.
Naturalmente, tale previsione deve essere considerata quale puramente indicativa, infatti, rifacendosi ai soli dati quantitativi raccolti nel triennio 1998-1999-2000, trascura altri fattori importanti, quali a esempio l'immesso al consumo, il numero di famiglie presenti, un'eventuale ciclicità dei conferimenti, per cui, negli anni immediatamente successivi all'introduzione del servizio, si assiste a un aumento esponenziale dei quantitativi conferiti, ecc..
Fatte queste dovute premesse, si può introdurre il seguente grafico "Stima, sulla base dei dati relativi al triennio 1998-1999-2000, dell'evoluzione dei quantitativi di beni durevoli oggetto di raccolta differenziata" in cui è rappresentata una linea di tendenza lineare che mostra chiaramente come l'evoluzione della raccolta differenziata dei beni durevoli, nel prossimo quinquennio, sia caratterizzata da un deciso aumento.

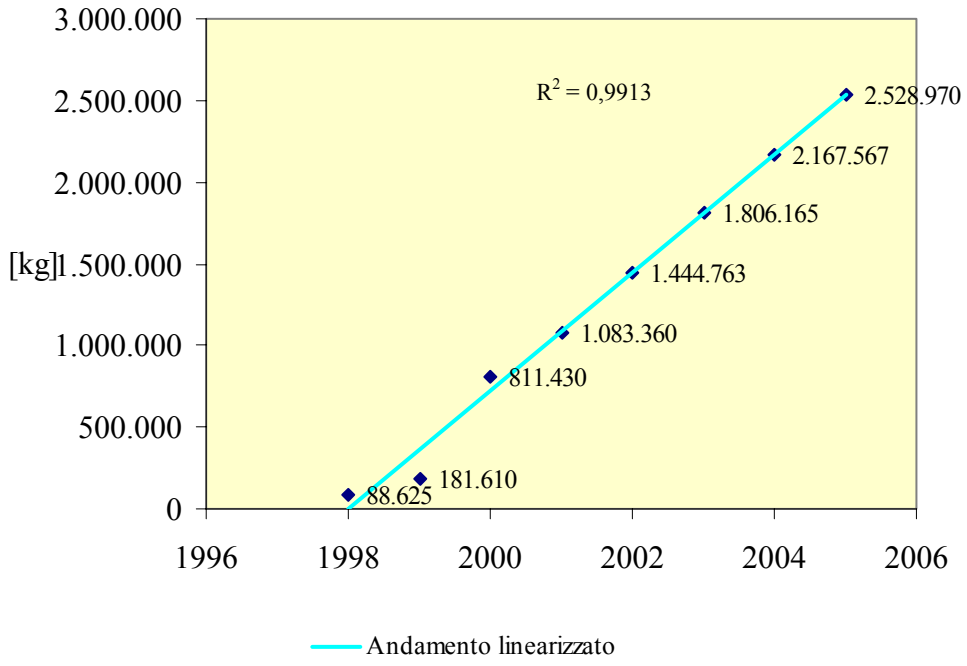


Grafico 9-2 Stima, sulla base dei dati relativi al triennio 1998-1999-2000, dell'evoluzione dei quantitativi di beni durevoli oggetto di raccolta differenziata

L'attendibilità della linea di tendenza è correlata con il valore di R al quadrato, denominato anche coefficiente di determinazione, infatti quest'ultimo è un indicatore che può assumere, in relazione al grado di corrispondenza dei valori stimati per la linea di tendenza con i valori reali, tutti i valori compresi tra 0 e 1. Pertanto una linea

di tendenza risulta tanto più precisa quanto più il relativo valore R al quadrato è uguale o prossimo a 1.
Nel precedente grafico "Stima, sulla base dei dati relativi al triennio 1998-1999-2000, dell'evoluzione dei quantitativi di beni durevoli oggetto di raccolta differenziata" la linea di tendenza lineare evidenzia, manifestamente, come nel prossimo quinquennio si dovrebbe assistere a un progressivo incremento dei quantitativi di beni durevoli avviati alla raccolta differenziata. Inoltre il valore R al quadrato è pari a 0,9913, a testimoniare una buona approssimazione della retta ai dati.

9.4 Il sistema Gestionale

9.4.1 Problema

Le Isole Ecologiche

- ***esistono in pochi luoghi e regioni Italiane,***
- ***funzionano, anche se in modo poco disciplinato,***
- ***ancora hanno una organizzazione ed una selettività acerbe,***
- ***possono diffondersi, studiando dei sistemi e delle operatività certo più avanzati.***

Centri per il conferimento

C'è una carenza di luoghi dove conferire i RAEE, non c'è dubbio.
Una simile carenza di centri per il conferimento dei beni durevoli dismessi costituisce il più grave disincentivo alla raccolta separata degli stessi. Non si può infatti pretendere dai cittadini un impegno in questo senso se prima non vengono loro messe a disposizione strutture adeguate che possano essere raggiunte con comodità (si ricorda il caso dell'"amico che si lamenta?).
Il risultato: nelle zone (del nord Italia) coperte da isole ecologiche comunali è sufficiente sensibilizzare i cittadini ai loro doveri per registrare apprezzabili incrementi nelle quantità di rifiuti elettr(on)ici raccolte.
Ma in tutte le altre aree d'Italia ci si trova in condizioni di "impotenza", dal momento che qualsiasi velleità in termini di raccolta separata si scontra con la totale assenza di strutture pubbliche dedicate al loro ricevimento.
Inoltre, da parte delle associazioni dei produttori, dei distributori/rivenditori e dei riciclatori provengono dure critiche nei confronti dei Comuni italiani (in particolare dell'ANCI, l'Associazione che li rappresenta), accusati di scarsa intraprendenza e insufficiente coordinamento nel realizzare le isole ecologiche nei territori che ne sono sprovvisti.

Alla luce di questo, esce ulteriormente rafforzato il ruolo che i rivenditori/distributori sono in grado di esercitare in "sostituzione" degli enti pubblici locali laddove manchino isole ecologiche attrezzate, secondo quanto esposto dall'Accordo di Programma; quest'ultimo, infatti, contempla, come centri commerciali, punti vendita della grande distribuzione, esercizi medio/grandi per la vendita al dettaglio di

prodotti elettrici ed elettronici etc. in base alla superficie disponibile, nella misura in cui sarebbero in grado di ospitare lo scarrabile per la raccolta dei rifiuti. Ciò consentirebbe di considerare questi operatori alla stregua delle isole ecologiche pubbliche (ricordiamolo, però, relativamente ai soli rifiuti elettrici/elettronici).

… E il piccolo commerciante?

Purtroppo, c'è un però anche sull'Accordo di Programma.
Rimangono esclusi dalle "agevolazioni" dell'Accordo i piccoli commercianti, destinati a provvedere a loro spese allo stoccaggio dei vecchi apparecchi e al loro trasporto alla più vicina isola ecologica pubblica. In questo caso, il problema è duplice:
i piccoli commercianti sono gravati di un onere che non investe i grandi esercizi commerciali, creando quindi una distorsione nella concorrenza;
se il piccolo commerciante si trova al centro-sud, il problema non è risolto, dal momento che egli non saprebbe come "liberarsi" legalmente dei rifiuti raccolti, data la già nota assenza di stazioni ecologiche comunali attrezzate.

9.4.2 Una soluzione: il Consorzio C.I.Che.No.C.

A completamento delle strutture per la raccolta e lo stoccaggio dei rifiuti, un ulteriore contributo potrebbe provenire dalle piattaforme CONAI.
Cos'è una piattaforma CONAI? Si tratta di un'impresa privata (solitamente di piccole/medie dimensioni) che gestisce un'area alla quale possono essere conferite determinate qualità di rifiuto da imballaggio (carta/cartone, legno, plastica) gratuitamente. In pratica, un privato (tipicamente un'impresa) che si trovi a dover smaltire imballaggi costituiti da questi tre materiali ha a disposizione delle piattaforme che li ritirano senza richiedere alcun contributo. Nonostante CONAI e le relative piattaforme convenzionate si occupino solo di rifiuti da imballaggio, non si può escludere che, in futuro, si possano sviluppare accordi e sinergie tra CONAI e un futuro consorzio, che qui si chiamerà "**C.I.Che.No.C.": "Consorzio Isola Che Non C'è**". Queste sinergie potrebbero, per esempio, concretizzarsi anche nell'utilizzo congiunto di queste piattaforme per raccogliere, insieme agli imballaggi, anche i rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche.
Dotando queste piattaforme delle attrezzature per lo stoccaggio temporaneo dei beni durevoli dismessi e studiando adeguati accordi finanziari si otterrebbero vantaggi per diversi attori di questo sistema:

- le piattaforme incrementerebbero le opportunità di business e lo sfruttamento della capacità produttiva;
- i piccoli commercianti avrebbero a disposizione ulteriori siti per il conferimento dei prodotti raccolti dai clienti;
- gli enti pubblici locali potrebbero considerare tali piattaforme come sostitutive (seppur temporaneamente) delle isole ecologiche pubbliche, guadagnando tempo per la realizzazione di queste ultime;
- il consorzio "**C.I.Che.No.C.**" potrebbe avvalersi di un numero supplementare di strutture che consentirebbero di incrementare le occasioni di

accumulo di beni durevoli dismessi semplificando così le operazioni di raccolta per il successivo invio al trattamento.

9.4.2.1 Il circuito

L'idea del consorzio c'è; ci sono, comunque, un sacco di problemi relativi alla gestione di ciò che c'è dietro e cioè alla gestione dei costi e del circuito che lo regola. Ad esempio, il fatto che il consumatore si senta invogliato ad andare a conferire i propri BDD all'Isola per il Bonus e che le aziende si trovino tutto il dismesso accumulato piuttosto che fare un "porta a porta" ai cittadini (perché adesso siamo, per le utenze domestiche, ancora a questo livello) e che produttori e negozianti si possano trovare a loro agio, sgravati da una grande responsabilità, quella della gestione fine vita di tutte le persone fisiche VA BENISSIMO!

Ma il problema grosso è: CHI PAGHERA' IL TRATTAMENTO?
Non solo: CHI PAGA TUTTO QUESTO?

Per la **prima domanda** siamo, purtroppo, tutti d'accordo: ora come ora solo le schede elettroniche si pagano da sole, producono, infatti più di quel che costano, addirittura ci sono delle aziende pronte a comprarle al fine vita (vedi Citiraya e Chimet); per i restanti beni durevoli il riciclo, il riutilizzo, l'estrazione di materie prime è indispensabile per il Mondo umano e per l'Ambiente MA NON BASTA A COPRIRE I COSTI.
Morale: pagherà il consumatore con una sovrattassa, o un "sovrapprezzo" che, attraverso un circuito che la porterà al rivenditore, al produttore, e all'azienda di trattamento servirà a coprire i costi.
Per la **seconda questione**, invece, ci viene incontro l'Accordo di Programma.
Dalla lettura dell'accordo di programma si intende come il motore del futuro sistema di raccolta e riciclaggio sia il consorzio, o meglio, un consorzio costituito da diversi "sottoconsorzi". La struttura figurerebbe simile a quella del CONAI (Consorzio Nazionale Imballaggi), consorzio-madre che coordina 6 consorzi di "materiale":

- CONSORZIO NAZIONALE ACCIAIO per l'acciaio;
- CIAL per l'alluminio;
- COMIECO per la carta e il cartone;
- RILEGNO per il legno;
- COREPLA per la plastica;
- COREVE per il vetro.

In sostanza, a CONAI è affidata la funzione di indirizzo e coordinamento generale dell'attività dei singoli consorzi, che svolgono invece l'attività operativa.
Nel caso dei beni durevoli dismessi, si potrebbe allora ipotizzare la costituzione di un consorzio principale, chiamiamolo C.I.Che.No.C., destinato a coordinare l'attività di alcuni "consorzi di filiera", ciascuno dei quali si occuperebbe della gestione di categorie omogenee di prodotti elettrici/elettronici, per esempio

1. un consorzio per gli elettrodomestici "BIANCHI",
2. un consorzio per gli elettrodomestici "BRUNI",

3. un consorzio per gli apparecchi "GRIGI",
4. un consorzio (eventuale) per i PICCOLI apparecchi.

La struttura prefigurabile è quella indicata nella pagina seguente.
Questa soluzione organizzativa è quella desumibile dall'Accordo di Programma ed ipotizzata dai produttori, nonostante sia ancora in fase di studio e valutazione.
ANIE (la federazione di Confindustria che rappresenta i produttori di apparecchi elettrici ed elettronici) sottolinea però la scarsa similitudine tra CONAI e un futuro consorzio "C.I.Che.No.C." dal punto di vista costitutivo, poiché:
CONAI è un consorzio obbligatorio previsto dal decreto Ronchi, il cui statuto è approvato con decreto ministeriale. C.I.Che.No.C. sarebbe invece un consorzio volontario costituito dai produttori che provvederebbero ad approvarne lo statuto.

CONAI è costituito da produttori ed utilizzatori di imballaggi. C.I.Che.No.C. sarà costituito presumibilmente dai soli produttori di apparecchi elettrici ed elettronici.
I produttori (ANIE) riterrebbero allora necessario un loro ruolo esclusivo all'interno del Consorzio, visto che gli oneri derivanti dalla gestione dei rifiuti sarà quasi completamente a loro carico. Essi ritengono quindi importante potersi muovere con ampi margini di libertà, in assenza di interferenze esterne.

A proposito dei singoli consorzi "di filiera", invece, ANIE lascia intendere maggiori possibilità di paragone con i consorzi di materiale appartenenti a CONAI, dal momento che questi ultimi sono costituiti dai soli produttori (di imballaggi). Stessa cosa dovrebbe verificarsi per i consorzi operativi appartenenti a C.I.Che.No.C. (sarebbero cioè costituiti dai soli produttori di apparecchi elettrici ed elettronici).

La probabile struttura del consorzio per la gestione dei beni durevoli dismessi.

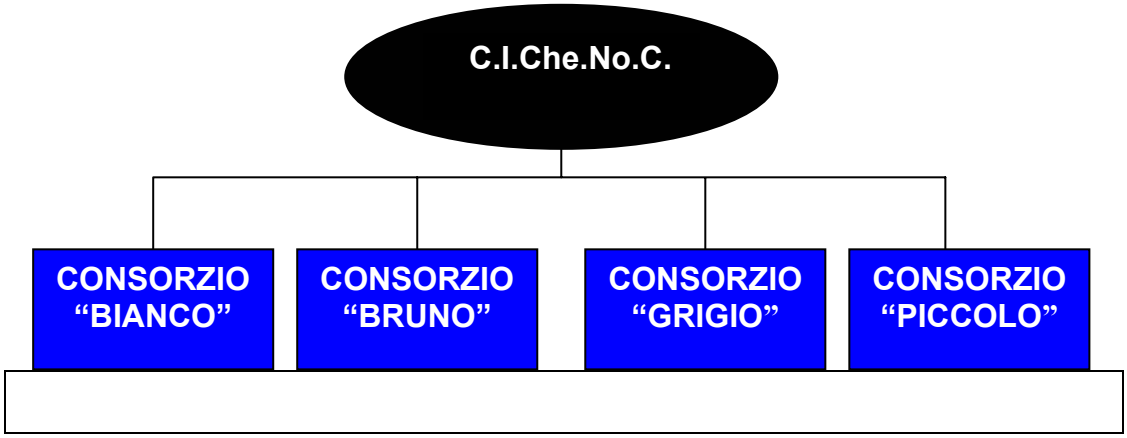
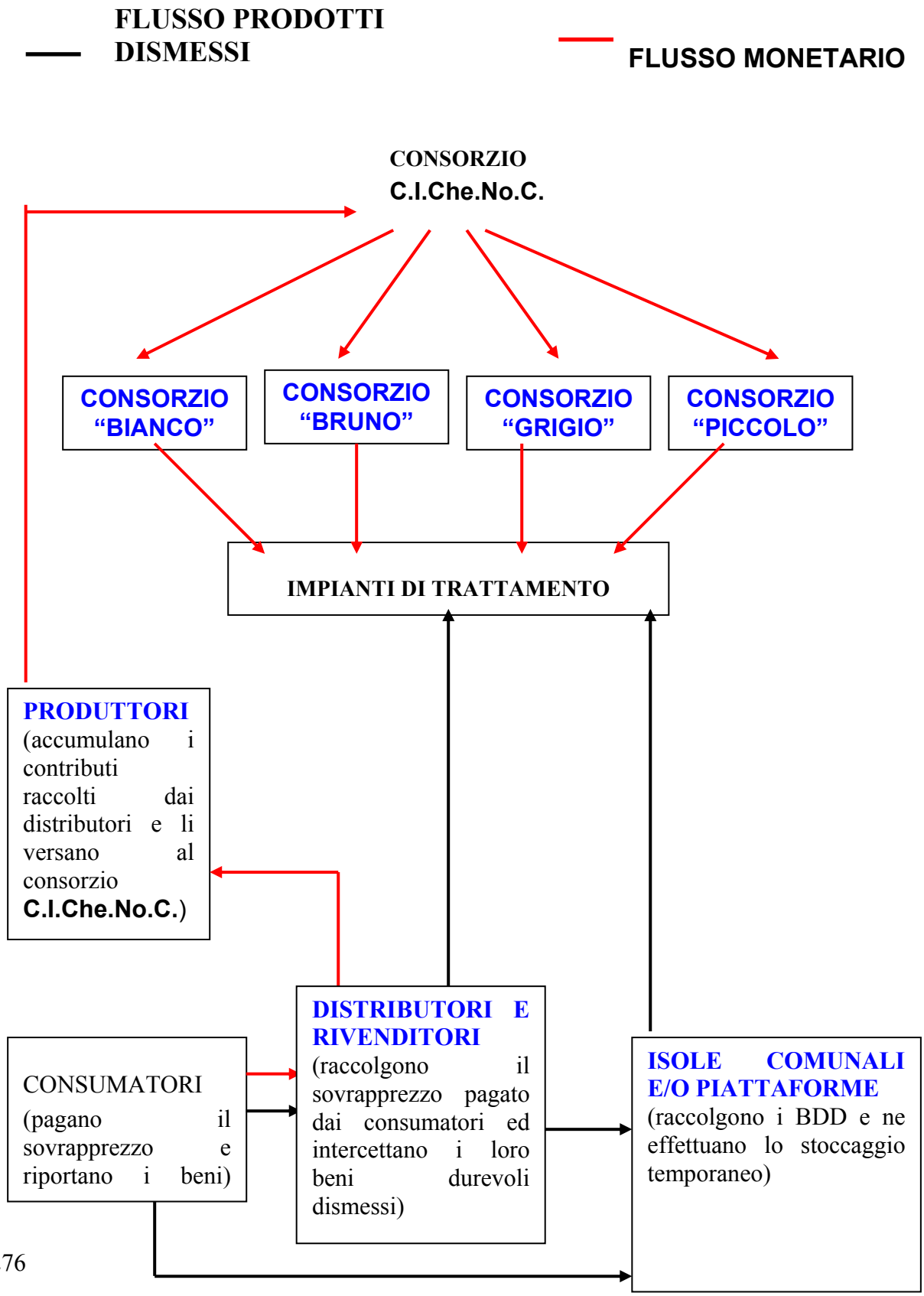


Diagramma 9-1 Diagramma della probabile struttura "gerarchica" del Consorzio

Il futuro Consorzio sarà il "braccio finanziario" attraverso cui produttori ed importatori adempieranno ai loro obblighi relativi alla raccolta e riciclaggio dei BDD.
Le risorse finanziarie per il funzionamento della struttura consortile nonché per il finanziamento delle operazioni di raccolta rifiuti e riciclaggio proverranno, con tutta probabilità, dai "contributi ambientali" che i consumatori corrisponderanno, in aggiunta al prezzo di vendita, all'atto dell'acquisto di un nuovo apparecchio.
In sostanza, il sovrapprezzo pagato dai consumatori consentirà di trasferire a questi gli oneri originariamente a carico di produttori/importatori.

Lo schema seguente evidenzia i soggetti coinvolti nel futuro sistema di raccolta, recupero e riciclaggio dei beni durevoli dismessi, e rivolge particolare attenzione al percorso compiuto dai flussi monetari che alimentano il sistema (originati dal sovrapprezzo pagato dai consumatori) e dai flussi di prodotti dismessi.

Diagramma 9-2 Il possibile funzionamento della struttura consortile


FLUSSO PRODOTTI DISMESSI
FLUSSO MONETARIO
CONSORZIO
C.I.Che.No.C.
CONSORZIO "BIANCO"
CONSORZIO "BRUNO"
CONSORZIO "GRIGIO"
CONSORZIO "PICCOLO"
IMPIANTI DI TRATTAMENTO
PRODUTTORI (accumulano i contributi raccolti dai distributori e li versano al consorzio C.I.Che.No.C.)
DISTRIBUTORI E RIVENDITORI (raccolgono il sovrapprezzo pagato dai consumatori ed intercettano i loro beni durevoli dismessi)
CONSUMATORI (pagano il sovrapprezzo e riportano i beni)
ISOLE COMUNALI E/O PIATTAFORME (raccolgono i BDD e ne effettuano lo stoccaggio temporaneo)

LETTURA DELLO SCHEMA

Il percorso dei flussi monetari: il produttore/importatore, quando vende al successivo attore della catena distributiva, fattura non solo il corrispettivo dei prodotti venduti ma anche un importo aggiuntivo pari al contributo ambientale unitario previsto per tipologia di prodotto moltiplicato per la quantità venduta. Tale importo aggiuntivo deve essere separato dalle altre voci e, quindi, figurare in modo chiaro all'interno della fattura. Da questo momento in poi, per ogni passaggio intermedio della merce, **il contributo ambientale viene "scaricato" da un soggetto della catena distributiva a quello successivo**, **fino a quando il venditore al dettaglio non lo fa definitivamente pagare al consumatore finale**. E' importante sottolineare che durante i vari passaggi **l'importo del contributo ambientale deve sempre rimanere costante**; in pratica, il consumatore dovrà pagare esattamente lo stesso sovrapprezzo unitario che il produttore/importatore fattura al primo operatore della catena distributiva.

I commercianti/distributori agiscono poi come collettori di contributi, raccogliendo le somme dai consumatori e "girandoli", tramite il pagamento delle fatture, al sovrastante operatore della catena distributiva, fino a che al produttore/importatore non ritorna il "monte contributi" relativo a tutti prodotti immessi sul mercato.

A questo punto, il produttore/importatore "regola i conti" con il Consorzio, al quale dichiara la quantità e la qualità dei prodotti immessi sul mercato nel periodo di riferimento (mese, trimestre,…); quindi, al Consorzio dovrà essere versato un importo risultante dal totale contributi raccolti nel periodo.

Che fine fanno le somme riscosse dal Consorzio? Verosimilmente, una parte viene trattenuta all'interno per coprire le spese di gestione; il rimanente viene girato ai consorzi di filiera (BIANCO, BRUNO,…). L'ammontare dei trasferimenti ai singoli consorzi è funzione della quantità di apparecchi immessi in commercio per ogni singola categoria merceologica (BIANCO, BRUNO,….).

A loro volta, i singoli consorzi trattengono una parte dei contributi per finanziare la gestione della propria struttura e destinano il resto agli impianti di riciclaggio convenzionati, che operano sulla base di tariffe "concordate" con il Consorzio.

Il percorso dei flussi di prodotti dismessi: tutto ha origine dal consumatore. Quando decide di disfarsi di un apparecchio, egli ha a disposizione essenzialmente due alternative:consegnare il vecchio al rivenditore contestualmente all'acquisto del nuovo o affidarsi ai servizi pubblici locali di raccolta e stoccaggio.
Ammessa una adeguata partecipazione dei cittadini al sistema di raccolta, i distributori/rivenditori di grandi dimensioni si trovano ad intercettare ingenti quantità di BDD. E' per questo che il Consorzio si offre di "venire incontro" alle esigenze di questi operatori, provvedendo gratutitamente al ritiro dello scarrabile dal domicilio del commerciante. Differente, e più controverso, il problema dei piccoli commercianti (che raccolgono piccole quantità di rifiuti elettrici/elettronici): essi sembrano destinati a doversi avvalere delle "isole ecologiche" locali per conferire gli apparecchi. Il trasporto dal domicilio all'isola ecologica sembrerebbe dover rimanere a loro carico (sollevando non poche polemiche). A loro volta, le "isole ecologiche" locali ricevono periodicamente la "visita" dei mezzi inviati dal Consorzio, che provvedono a sostituire i cassoni scarrabili pieni con contenitori vuoti, e a portare presso gli impianti di trattamento convenzionati le vecchie apparecchiature. Le operazioni di sostituzione degli scarrabili e il trasporto di quelli pieni agli impianti di trattamento rimangono gratuiti per le autorità locali, poiché i costi sono sostenuti dal Consorzio.

9.4.2.2 Sovrapprezzo

Sarebbe ora interessante approfondire l'argomento "***contributo ambientale***", ***sovrapprezzo***, ***EcoTassa***, o come la vogliamo chiamare, cercando di analizzare il circuito che fa questo sovrapprezzo e di stimare l'importo del sovrapprezzo applicato alle vendite di nuovi apparecchi in Italia.

Il giro finanziario dovrebbe seguire uno schema simile:

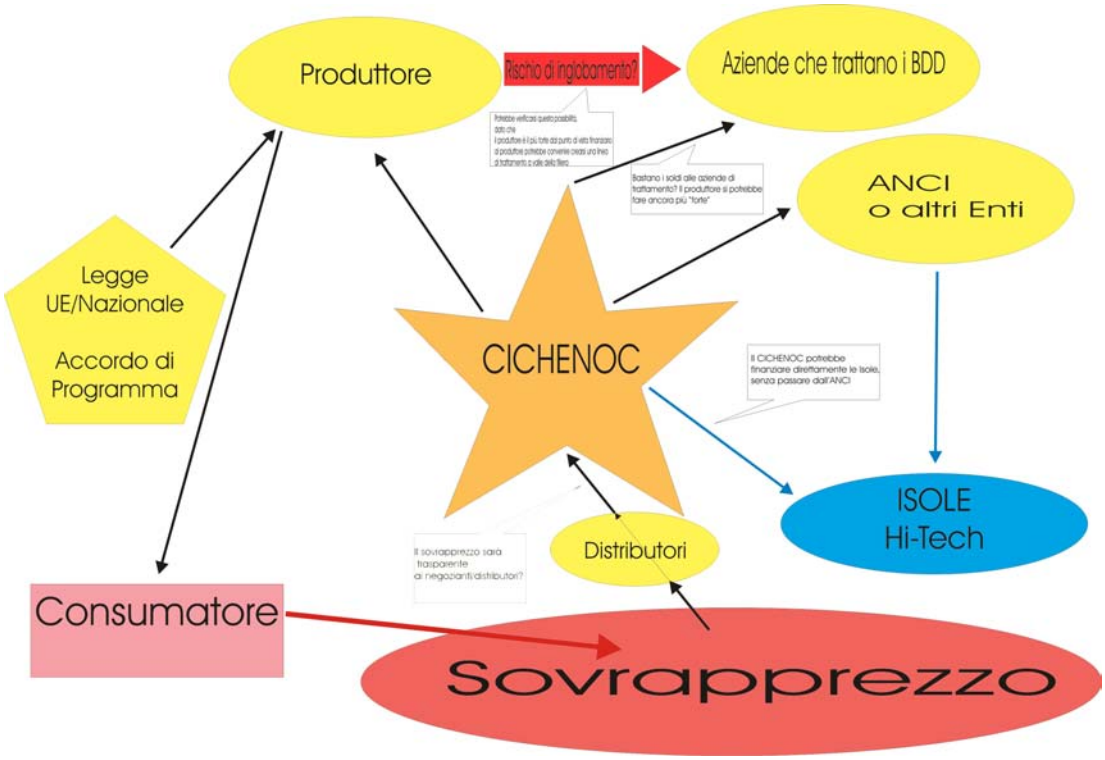


Diagramma 9-3 L'arcobaleno del flusso finanziario, dal sovrapprezzo, alle Isole, alle aziende di trattamento

L'immagine si commenta da sola: la legge stabilisce una regola e si rivolge ai produttori e a chi per loro (es. gli importatori), i produttori la ascoltano, il sistema la fa rimbalzare al consumatore (niente vittimismi, diciamo che anche il produttore è un consumatore…), il consumatore paga un sovrapprezzo –visibile o invisibile- ma lo paga; questi soldi passano –si spera senza attaccarvisi come un CFC ad un carbone attivo- attraverso il distributore, vanno al Consorzio coordinatore, che abbiamo chiamato il Consorzio dell'Isola Che Non C'è, il quale li distribuisce non si sa in quali % (perché non si sa –possiamo solo fare delle ipotesi-) all'ANCI o chi per lui che organizza e mette i posti per le Isole, li distribuisce direttamente al progetto e alla produzione Isola, …, e alle aziende che questi RAEE devono trattare.
Il problema è se funzionerà e, soprattutto, se basteranno i soldi.
E se la macchina funzionerà, arriverà abbastanza carburante?

Un'utile base informativa è costituita dalle "visibile fees" applicate attualmente dai sistemi europei già in funzione, come RECUPEL (Belgio) e NVMP (Olanda). Si osserva come gli importi varino dai 15-20 € per i grandi elettrodomestici agli 1-5 € per i piccoli apparecchi. Senza contare che il sistema olandese (il più "vecchio" d'Europa) è già in grado di garantire lo smaltimento di alcuni apparecchi (soprattutto quelli piccoli) senza il bisogno di ricorrere ad alcun sovrapprezzo.
Quindi, l'ammontare del contributo applicato si attesta su percentuali comprese mediamente tra il 2% ed il 6% del prezzo di vendita del prodotto.

9.4.2.3 Il problema geografico

Tuttavia, considerare applicabili questi importi al sistema italiano sarebbe troppo semplicistico. Ecco perché. Il contributo ambientale si compone principalmente di due elementi:

- costi di trattamento (necessari per finanziare l'intero processo di recupero/riciclaggio/smaltimento);
- costi logistici (necessari per garantire la movimentazione dei rifiuti dalle aree di raccolta agli impianti di trattamento).

Mentre i costi di trattamento sono relativamente standardizzabili e possono quindi essere applicati a differenti realtà nazionali, sui costi logistici la cautela deve essere massima. I costi logistici sono infatti influenzati in maniera rilevante dalle caratteristiche geografiche di un paese. Basti pensare alle enormi differenze esistenti in questo senso tra Italia e Belgio oppure Olanda per rendersi conto di quanto sia inopportuno ipotizzare i "contributi ambientali" italiani uguali a quelli nord europei. Belgio ed Olanda sono paesi relativamente regolari dal punto di vista morfologico: piccoli, tondeggianti e con ampia presenza di zone pianeggianti o depresse. Niente a che vedere con la morfologia "critica" dello stivale italiano, dalla forma allungata, attraversato da catene montuose di vario genere e con una discreta presenza di territori isolati dalla terraferma.
A margine di tutto ciò è quindi ragionevole attendersi un importo maggiore nei premi applicati ai prodotti italiani rispetto ai contributi in vigore per le altre realtà europee esaminate.
Banalmente, si potrebbero ipotizzare variazioni incrementali fino ad un 10%, anche se è doveroso ricordare la precarietà di queste stime o ipotesi, dal momento che persino gli "addetti ai lavori" partecipanti all'Accordo di Programma non hanno avuto modo di fissare, con intervalli di confidenza accettabili, l'importo dei contributi.
In particolare, come figura dal testo dell'Accordo di Programma, emergono le difficoltà nello stabilire con giusta misura l'entità del sovrapprezzo da applicare ad alcuni rifiuti relativamente "nuovi" come PC e condizionatori d'aria.
Per i frigoriferi c'è una base informativa già più consolidata, che consente di stimare i costi di riciclaggio in ex-Lit. 35.000 (circa 18 €) e i costi logistici in ex-Lit. 9.000 (4.65 €), delineando quindi un ipotetico contributo unitario di ex-Lit. 44.000 (20.66 €).

9.4.2.4 Contributo visibile o sua internalizzazione nel prezzo di vendita?

Quanto illustrato finora potrebbe non aver luogo qualora al posto del contributo separato venisse scelta la strada dell'internalizzazione dello stesso nel prezzo di vendita.
In questo caso si eviterebbero tutte le procedure burocratiche di gestione del contributo nelle varie fasi della catena distributiva.
Tuttavia, i produttori si dichiarano contrari ad un approccio così traumatico del sistema nei confronti dei consumatori, che percepirebbero un, seppur lieve, incremento generalizzato dei prezzi senza essere messi al corrente (e responsabilizzati) del loro ruolo importante nella corretta gestione di questi rifiuti.

UN ESEMPIO:

Su un apparecchio, il cui prezzo di vendita è 360 €, il contributo ambientale previsto è di 18 €.

I IPOTESI (visibile fee): il consumatore paga 360 € per l'apparecchio più il contributo ambientale separato di 18 € ed è quindi a conoscenza del motivo per cui paga la somma aggiuntiva.

II IPOTESI (internalizzazione): il consumatore paga 378 € come prezzo di vendita dell'apparecchio.

Lo strumento del contributo ambientale visibile è considerato la soluzione ottimale per un periodo transitorio (di cui possiamo ipotizzare la durata: 10 anni) necessario per:

- creare nei consumatori una forte responsabilità ambientale;
- dare modo ai vecchi prodotti non eco-compatibili di essere completamente smaltiti
- dare tempo alle aziende di studiare e realizzare prodotti ambientalmente validi e facilmente riciclabili.

Giunti ad una simile realtà, ci si troverebbe con un mercato nel quale circolano solo prodotti "puliti", i cui costi di riciclaggio possono essere notevolmente abbassati. Questo, unito ad un apprezzabile e consolidato rapporto di collaborazione tra cittadini e "sistema", consente di rendere molto più "morbido" l'importo del contributo ambientale, che potrebbe essere facilmente metabolizzato nel prezzo dei prodotti.
A questo punto, la figura del contributo ambientale visibile perde il suo significato e la normalità diventa il costo di riciclaggio "inglobato" nel prezzo di vendita.
A questo bisogna aggiungere che la direttiva WEEE sembra comunque orientarsi verso l'internalizzazione dei contributi ambientali nel prezzo dei prodotti come soluzione standard alla quale devono tendere tutti i sistemi. L'applicazione di una visibile fee è quindi permessa ma viene vista dalla proposta WEEE come un "dispositivo cuscinetto", ammissibile ma temporaneo. Ricordiamo che il Parlamento (in prima lettura), nell'emendamento n. 93 alla proposta originaria di direttiva, suggeriva il seguente testo:

"I costi della raccolta e trattamento devono essere internalizzati nel prezzo del prodotto. Gli stati membri nei quali sono stati presi altri accordi finanziari prima dell'entrata in vigore della direttiva possono mantenerli, revisionandoli, ma per non più di 10 anni dall'entrata in vigore della direttiva."

9.4.2.5 Dove si vuole arrivare?

Il consorzio coordinatore dovrebbe garantire un flusso di materiale e di denaro abbastanza solido e continuo. Dovrebbe essere insieme un mezzo di trasporto idee e risorse, un setaccio per le normative e gli indisciplinati ed un lubrificante per favorire

il movimento. A questo punto il sistema grosso, quello che *contiene* il nostro soggetto, il sistema della produzione – vendita – utilizzo – riciclo – recupero – reimmissione in catena produttiva, dovrebbe funzionare, a monte e a valle, come un otto continuo.

Diagramma 9-4 Auspicato doppio ciclo di funzionamento produzione, utilizzo, dismissione, reimmissione

Ci troveremmo, allora, di fronte ad una analisi a doppio ciclo dove l'Isola Hi-Tech avrebbe un ruolo fondamentale. Il sistema funzionerebbe, come dire, come una macchina a combustione interna con un certo rendimento, maggiore o minore a seconda del carburante (i soldi), dell'aria (l'ambiente esterno organizzativo), della cilindrata (l'entità del circuito e la grandezza delle Isole), della qualità del telaio (la solidità del sistema), della strada percorsa (l'ambiente legislativo, burocratico, etc.) e della trasmissione (le aziende di trattamento). Molte cose si perderebbero per strada come:

- materiale non recuperato,
- roba gettata in discarica,
- incenerimenti poco controllati,
- esportazione orribile,

- composti non riciclabili,

ma un grande passo verso il ***Circuito*** con la C maiuscola verrebbe mosso sicuramente.
Purtroppo, come abbiamo visto, il grosso scoglio è quello dei finanziamenti, senza quelli anche la scienza resta a piedi. *Poche risorse si pagano da sole* e generano giri d'affari endogeni, come le schede elettroniche. *Tutte le altre* sono recuperabili, riciclabili, riutilizzabili, generano energia e, spesso, sono anche rivendibili…ma *non si bastano*.

Chi le tratta ha bisogno di soldi.
Chi le gestisce ha bisogno di soldi.
E chi le restituisce all'"otto" vuole indietro qualcosa.

Come se, dopo essere state col padrone per tanto tempo, avessero perso funzionalità ma acquistato un valore personale, un "know how proprietario".
Le pipelines del flusso *sostenibile* sono ancora da collegare, in alcuni tratti da costruire … e le loro superfici sono scabre. Ma si deve fare qualcosa per innescare il movimento.

Si è pensato, allora, di preparare il carburante, l'enorme quantità di RAEE che detiene e che dismetterà la gente che ci abita attorno.

9.5 L'Isola che non c'è

Percorrevo una via, in un pomeriggio d'Aprile.
Un viale alberato, con le piste ciclabili dalle parti, gli alberi rigogliosi, poche automobili, negozi ogni tanto.
La percorrevo con l'automobile, i finestrini tirati giù, un caldo tiepido e piacevole, il cielo azzurro e percorso da poche nuvole, molto chiare.
Fissai, per caso, la mia attenzione sui bidoni della spazzatura, quelli di un verde scuro, quasi rassicurante, di plastica morbida e ben inseriti nel verde cittadino.
Allora, ebbi l'idea.
Un'ISOLA.
Un'Isola Verde e Azzurra, verde come i prati e azzurra come il cielo, pulita, comoda, curata, amata: l'Isola che non c'è.
Mi ricordai, di getto, la discussione avuta due sere prima con un mio caro amico paterno circa la raccolta differenziata del vetro e le sue parole incalzanti: " Il più vicino contenitore del vetro è a 2 Km, non posso andare fin laggiù a buttare le bottiglie, e non ho voglia né spazio per accumularle per poi perdere tempo ed energie per portarle là ". Ricordai anche, non senza rammarico, che fui impossibilitato a rispondergli, a reagire.
Aveva ragione e ce l'aveva in una misura ampia, quella che racchiude tutti i disagi che ogni cittadino ha nel trovare i raccoglitori, nel raggiungere i contenitori, nel conferire il vetro, la plastica, i medicinali, le pile, la carta e così via.

Aveva ragione anche perché, di bidoni e raccoglitori per la raccolta differenziata, spesse volte ce n'è una quantità irrisoria, perché fa ridere, ma penosa, perché origine primaria del male dell'inquinamento del fine vita.
Pensai, allora, e mi si formò l'immagine nella mente come se fosse stata lì da tanto tempo ma non avessi mai trovato la chiave per aprirla, all'Isola che non c'è: un'Isola, un'oasi nella giungla cittadina, un posto di ritrovo con la Natura, con sé stessi, con i propri figli, con il Verde, …, e con i fantasmi tornaconto del nostro benessere tecnologico.
Un'Isola dove si rimane, d'incanto, in sintonia incontaminata con la Natura, un'oasi dentro la quale non si ricordi più quanto si è cresciuti e ci si è allontanati dal creato, in cui si ritorni, anche se per poco tempo, ad essere dei bambini felici del Mondo che ci circonda e del Verde e dell'Azzurro e dei Profumi e dei Sapori e dell'Energia che ci infonde.

9.5.1 L'idea

Si diceva che il problema, quello a monte, a monte dei vari studi, trattamenti, riciclaggi e riutilizzi, sia la raccolta.
Se non si raccoglie e non si conferiscono gli scarti, come si fa a trattarli?
E' come se progettassimo una autovettura e non avessimo il carburante, come se volessimo volare e stessimo nel vuoto.
Allora, come abbiamo detto, si dovrebbe pensare a qualcosa per raccogliere il materiale che trattiamo, per rastrellare più "benzina" possibile, rendere il lavoro di raccolta, per coloro che gestiscono e trattano quel materiale, il meno difficile possibile, creare un circuito che funzioni e che sia in fase con l'ambiente e i trattamenti.

Il materiale di cui parliamo sono i rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche, nella fattispecie si parla dei rifiuti "ad alta tecnologia", quelli, cioè, che dopo essere stati sfruttati per poco tempo diventano obsoleti per la grande innovazione tecnologica cui sono sottoposti i propri "simili" passati da un laboratorio al mercato.
Fino ad ora, parlando di gestione della raccolta, si è parlato di carta, plastica (senza specificazione, quella col bollino del riciclo), vetro, pile, medicinali scaduti. La grande idea dei bidoni raccoglitori differenziati è stata una grande idea, sì, ma l'applicazione ha dato e dà dei forti dubbi. Infatti, anni or sono, si è pensato di mettere questi contenitori in qualche zona delle città, poi si è pensato di disporli in modo più fitto, ma non è bastato; e soprattutto non si è riusciti a sensibilizzare e costringere con abbastanza severità i cittadini a conferire le risorse preziose e/o pericolose in quei raccoglitori.
Come faremo, allora, a costringere i cittadini a portare il televisore, la radio, il palmare o il cellulare esaurito in discarica?
Come detto, la maggior parte degli umani non ha coscienza dei problemi legati alla Natura e all'Ecologia, né tanto meno alle Risorse ed all'Energia, perciò, se ci basiamo sulla fiducia: campa cavallo che l'erba cresce.
Potremmo obbligare il cittadino, dunque, a non gettare nei fiumi o nelle campagne o in discarica oggetti contenenti sostanze preziose e pericolose con la legge… e con le pene… ma, si sa, legge chiama legge, legge chiama inganno, soprattutto qua in Italia, dove siamo, in questo, grandi professionisti.

Lasciamo perdere anche le costrizioni: sono state inventate dall'essere umano perché non in grado di darsi delle regole naturali e di farsi una selezione da solo, ma sono state inventate per essere violate, altrimenti non ce ne sarebbe stato bisogno… è un discorso intricato ma la logica è chiara.
Ebbene?
Ebbene, come abbiamo accennato, l'uomo deve essere incentivato da qualcosa, da qualche… interesse.
Ecco l'idea: spingere il cittadino a portare l'inquinante/risorsa, in cambio di qualcosa, in un'Isola verde che lo accarezzi, che lo riporti in contatto con la Natura.

Dunque, questo accade nei negozi che accettano il rifiuto se il mittente acquista qualcosa, questo accade a volte con lo scatto di uno sconto, più o meno fittizio, questo succede con certe aziende, come ha fatto la Motorola o la Omnione per i cellulari, con la solita modalità: fare sconti sul nuovo ed accettare l'usato o il rifiuto.
Ma sono casi sporadici, non rilevanti, troppo legati all'interesse, troppo ipocriti verso il cittadino e l'Ambiente e troppo poco adottati.

Bisogna creare un circuito di raccolta in cui tutti gli attori coinvolti siano stimolati, abbiano il loro interesse.
Perché, allora, non progettiamo un'isola?
Si sta parlando dell'Isola che non c'è, l' ISOLA HI-TECH!

Vediamo. L'isola avrebbe ragion d'essere se creasse un circuito tra attori e se ne fosse il palcoscenico portante, ma di quali attori?

Figura 9-2 Attori coinvolti nel progetto

Per quanto riguarda produttore, consumatore e negozi non c'è bisogno di commenti.
Sulle aziende che trattano i RAEE gravano obblighi di profitto e di interesse a crearsi un giro di materia, si direbbe, vitali.
Gli enti preposti ci sono sempre, governano, guidano, controllano, finanziano, fanno possibilità e burocrazia.
Vogliamo parlare ancora di ambiente?

Per quello che concerne i paesi in via di sviluppo, mi sembra che, dopo avergli dedicato un capitolo intero, si abbia imparato che ci sia solo da proteggerli, in ogni modo.
Bene, detti gli attori, vediamo quali sono le loro connessioni con l'Isola.

Figura 9-3 Connessioni tra attori[133]

In dettaglio vediamo quali sarebbero, connessione per connessione, i dare e avere.

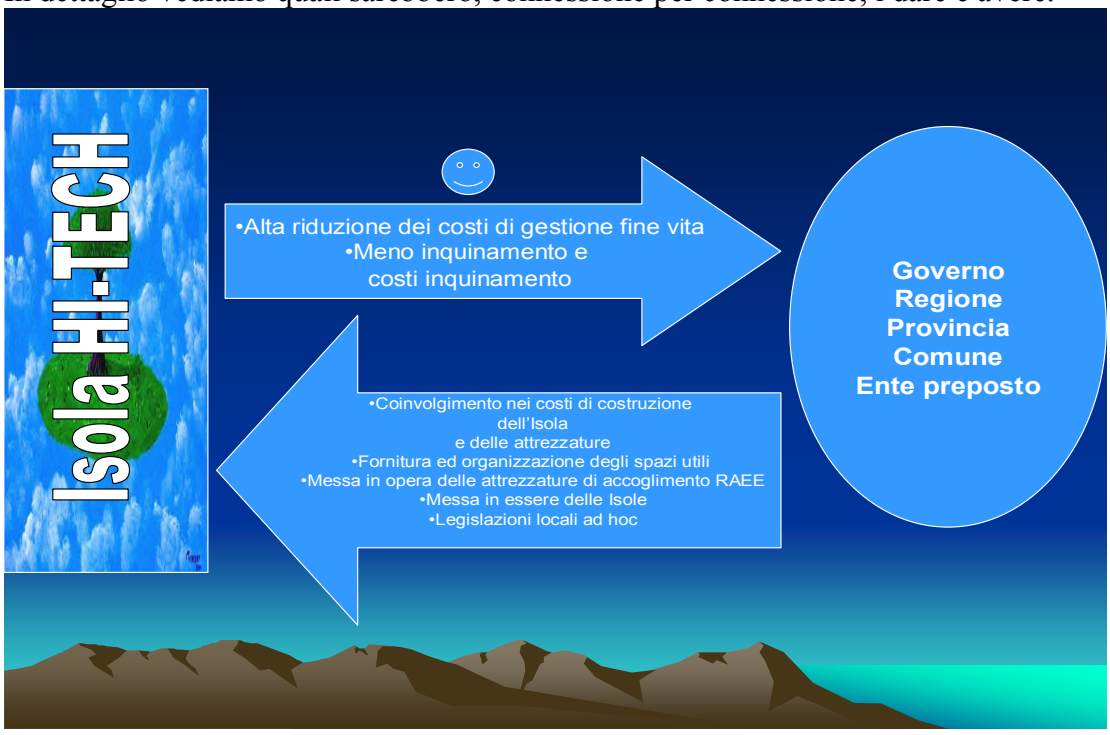

Isola HI-TECH
•Alta riduzione dei costi di gestione fine vita
•Meno inquinamento e costi inquinamento
Governo
Regione
Provincia
Comune
Ente preposto
•Coinvolgimento nei costi di costruzione dell'Isola e delle attrezzature
•Fornitura ed organizzazione degli spazi utili
•Messa in opera delle attrezzature di accoglimento RAEE
•Messa in essere delle Isole
•Legislazioni locali ad hoc

Figura 9-4 Movimenti Isola – enti preposti

[133] Lo sfondo dell'Isola è un'immagine di Erico Menczer.

L’Isola avrebbe un costo consistente ma questo costo si dovrebbe ramificare su più direzioni; il ramo più grosso spetterebbe agli enti preposti, ai quali spetterebbe anche l’onere di decidere e regolamentare i luoghi e le legislazioni ad hoc.

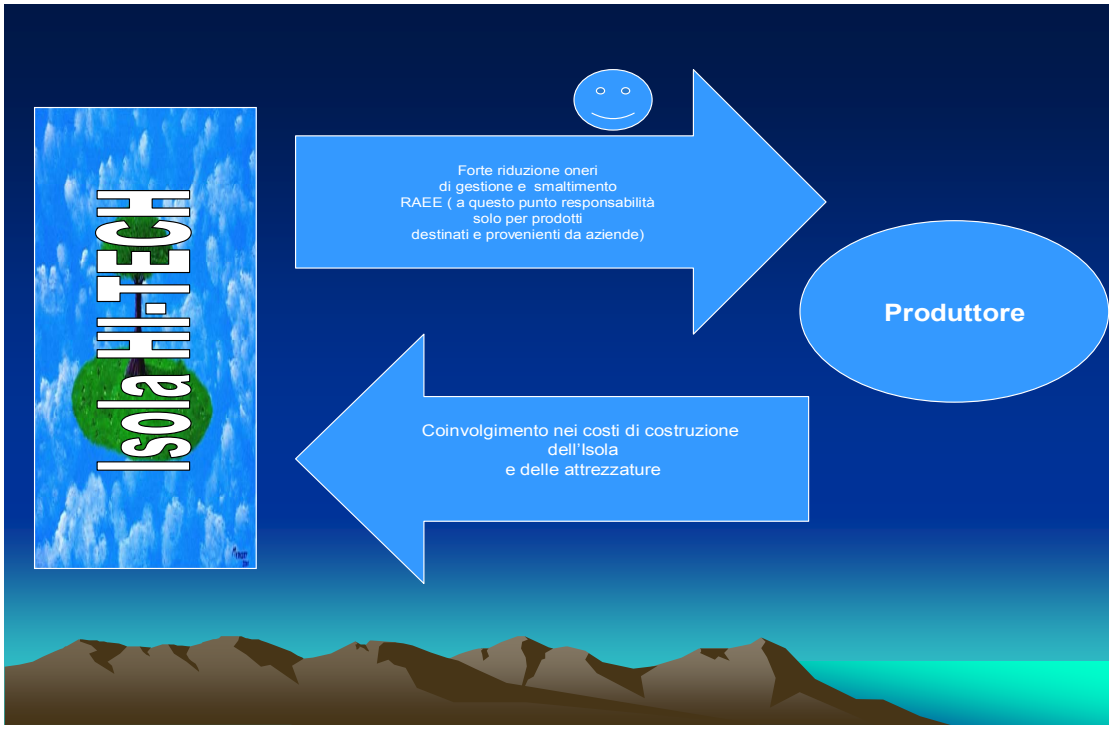


Figura 9-5 Movimenti Isola - produttore

Da legislazione Europea il produttore ha ed avrà gli oneri riguardanti il fine vita dei beni durevoli, e fino al 2005 anche per quelli storici: esso non avrebbe l’interesse di portare a compimento totale questi obblighi normativi, se fosse per lui. Quale miglior mezzo di alleggerimento di un’Isola Hi-Tech, in città, che funzioni e che si prenda tutti o quasi gli Hi-Tech della persona fisica, del cittadino, della persona comune, di quei milioni di abitanti dei quali la stragrande % di BDD finisce in discarica o sulle sue spalle?

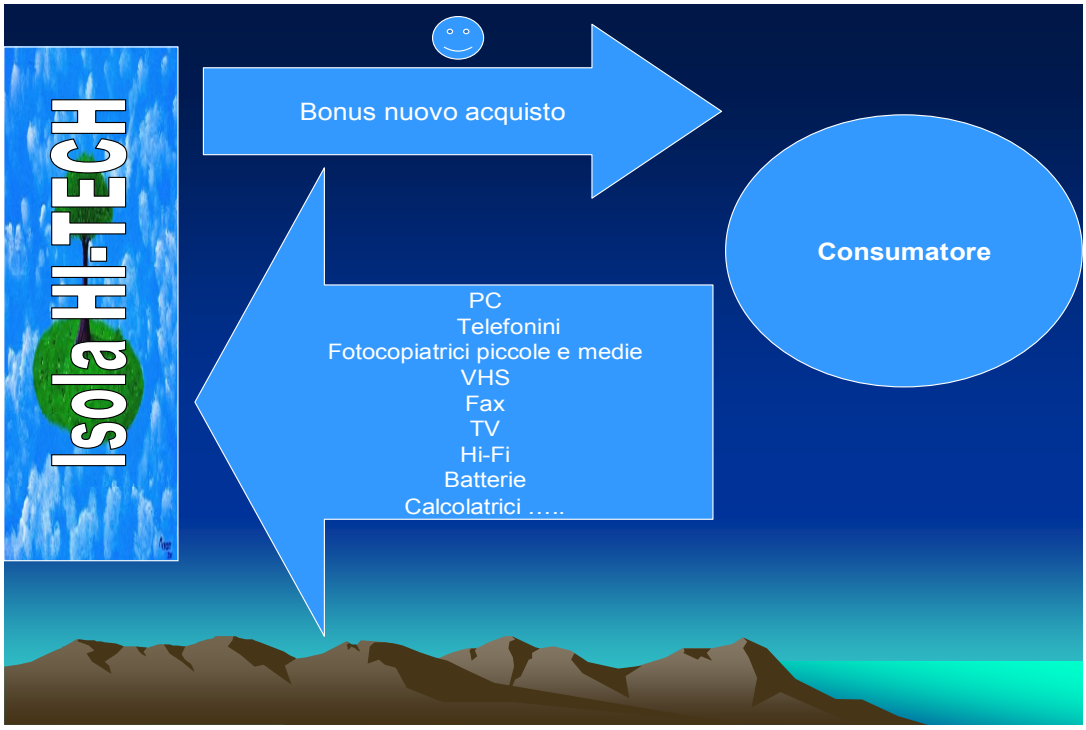


Figura 9-6 Movimenti Isola - consumatore

Questo è il punto: come fare a convincere il consumatore a portare i suoi dismessi all'Isola? Con un bonus per un nuovo acquisto che si risolva o endogenamente o, addirittura, su un'altra classe merceologica. Vedremo poi il particolare.

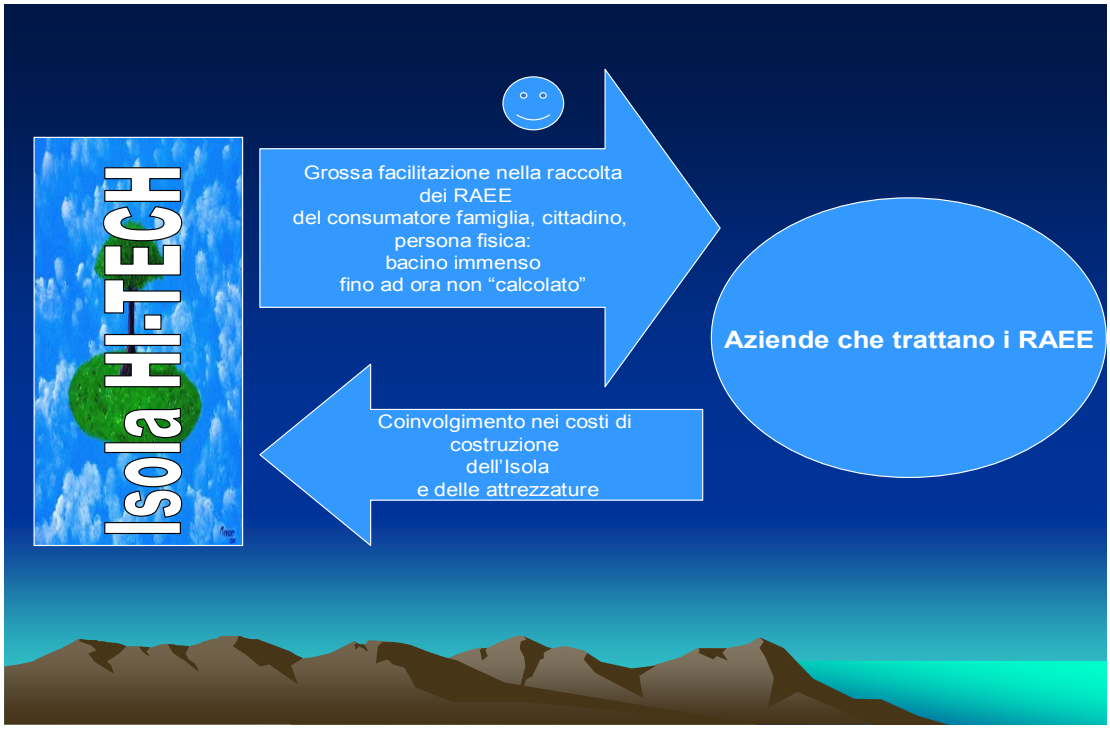


Figura 9-7 Movimenti Isola – aziende di trattamento RAEE